无线电爱好者读本

（下）

（第二次修订本）

本书编写组 编著



无线电爱好者丛书

精品系列

多次重印，畅销不衰

介绍了电视机、录像机、摄像机和光盘机

通俗易懂的原理介绍
透彻深入的电路分析

使读者轻松步入“电子世界”

人民邮电出版社



ISBN 7-115-08041-0

9 787115 080417 >

ISBN7-115-08041-0/TN·1532

定价：18.00元

人民邮电出版社

无线电爱好者丛书精品系列

无线电爱好者读本
（第二次修订本）（下）

本书编写组 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

无线电爱好者读本.(第二次修订本)下/《无线电爱好者读本》编写组编.—3版(修订本).—北京:人民邮电出版社,1999.12
《无线电爱好者丛书精品系列》
ISBN 7-115-08041-0

I.无… II.无… III.无线电技术-普及读物
IV.TN-49

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第50277号

无线电爱好者丛书精品系列

无线电爱好者读本(第二次修订本)(下)

◆ 编　　著　本书编写组
　责任编辑　唐素荣

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街14号
　邮编　100061　　电子函件　315@pptph.com.cn
　网址　http://www.pptph.com.cn
　北京汉魂图文设计有限公司制作
　北京朝阳隆昌印刷厂印刷
　新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092　1/32
　印张:13.125
　字数:297千字　　　　1999年12月第3版
　印数:350 301-354 300册　　2000年10月北京第17次印刷

ISBN 7-115-08041-0/TN·1532

定价:18.00元

本书编写人员： 张燕杰　聂元铭　杨克威

无线电爱好者丛书前言

众所周知，迅速发展着的无线电电子技术，是一门应用十分广泛的现代科学技术。它的发展水平和普及程度是现代化水平的重要标志。为了普及电子技术知识，培养更多的无线电爱好者，适应现代化建设的需要，中国电子学会和人民邮电出版社约请有关专家编写了这套《无线电爱好者丛书》。

本丛书从无线电爱好者的实际条件出发，按照理论联系实际的指导思想，深入细致地讲述各种无线电元器件和常用电子电路的原理；介绍各种家电电器、电子设备（如收音机、扩音机、录音机、电视机、录像机、电子计算机、计算器、复印机、电子相机、常用电子仪器仪表、电子钟表、电冰箱、空调器、洗衣机、吸尘器、电风扇、电热器具等）的工作原理、制作技术、使用和维修方法，为无线电爱好者提供所需的各种技术资料及有关工具书，使读者通过阅读本丛书和不断动手实践，能逐步掌握应用电子技术的基本技能。本丛书的读者对象是各行各业的广大无线电爱好者。

我们衷心希望广大电子科学技术工作者、专家、学者和无线电爱好者，对这套丛书的编辑出版工作提出宝贵意见，给予帮助。让我们共同努力，为普及无线电电子技术，为实现我国现代化做出贡献。



本书从现代无线电设备的共性出发，深入地阐述了电视机、录像机与摄像机、光盘机的工作原理，分析了它们的电路。

本书在写法上侧重讲清物理概念，尽量避免繁琐的数学推导；在表达方式上，力求深入浅出通俗易懂，以适合具有中等文化程度的读者学习。



前言

广大无线电爱好者大多是从业余制作起步的，通过制作一些简单的无线电设备，积累了初步的实践经验，产生了日益浓厚的兴趣，由此进一步去探索无线电世界的奥秘。但是，无线电技术的初学者，在分析比较复杂的电子电路，或对无线电整机进行调试和修理时，却由于缺乏比较系统的理论知识而感到困难和吃力。理论基础薄弱羁绊了无线电爱好者长足进取。为了向具有中等文化水平的读者普及无线电电子学方面的基础知识，系统地介绍无线电路的基本原理和基本分析方法，指导他们更好地从事业余无线电实验和制作活动，我们编写了这套书。

《读本》是中国电子学会组织编写的“无线电爱好者丛书”中的一种，自 1983 年出版以来，深受读者欢迎，连年重印，畅销不衰。1993 年又出版了本书的修订本。近年来，无线电技术发展十分迅速，新型电子器件不断涌现，无线电设备特别是音像设备及通信设备不断更新换代。当前，为了贯彻党和政府提出的科教兴国和可持续发展战略，电子科学技术的普及工作越来越受到各方面的重视。由中国科学技术协会青少年工作部和《无线电》杂志编辑部联合举办的全国“少年电子技师”等级证书认定活动，正在全国范围蓬勃展开，无线电爱好者的队伍不断壮大，业余无线电活动的内容也在更新和变化。在这样的形势下，《读本》1993 年修订本的内容已经不能适应无线电爱好者新的、更高的需求。为此，根据广大读者的意见，我们对原书再次进行了

修订。

《读本》不涉及某种设备的制作工艺、调试、维修等内容，主要是从各种无线电设备的共性出发，比较深入地阐述了各种电子器件、无线电单元电路以及整机的工作原理和分析方法。在写法上侧重讲清物理概念，尽量避免繁琐的数学推导，力求深入浅出，通俗易懂，便于自学。这次修订在保持原书特色的前提下，进行了全面改写，更加突出了内容的新颖性和实用性，删去了介绍一般科普知识的“绪论”、“微型计算机基础知识”等章节，新增了“Hi-Fi 及 AV 家庭影院”、“光盘机”等当前比较热门的内容。

《读本》(第二次修订本)分上、中、下三册出版。上册内容包括“电子器件”、“放大电路基础”、“电源电路”、“正弦波振荡电路”、“调制与解调电路”、“混频电路与变频电路”、“集成运算放大电路”、“数字集成电路”等八章，由宋东生编写；中册内容包括“收音机”、“录音机”、“Hi-Fi 及 AV 家庭影院”三章，由张春元和张庆双编写；下册内容包括“电视机”、“录像机与摄像机”、“光盘机”三章，由张燕杰、聂元铭、杨克威编写。

本书 1983 年第一版和 1993 年修订本的作者为宋东生、李璜、张春元、王行国、赵锡禄、张爱华、王贯一、杨克威、朱凯、许茂祖等同志，他们为无线电技术的普及作出了贡献，在此表示诚挚的感谢。

编者

目　录

第十二章
电视接收机

电视广播是利用无线电波来传送图像和声音的。在电视台，利用电视摄像机把活动的景像转换成相应的电信号（视频信号），与伴音信号（声频信号）一起送入电视发射机，由发射机将视频信号和声频信号调制到超高频载波上，通过发射天线以超高频电磁波的形式辐射到空间；在各个接收端，电视接收天线将无线电波接收下来，通过放大、解调、电光转换等一系列加工过程，把电信号还原成光信号和伴音，在显像管的荧光屏上重现出发送端的图像。

无线电爱好者在掌握了本书上册介绍的无线电电路的基础知识后，就可以进一步学习电视接收机的基本原理和基本分析方法。必须指出，电视是一门高度综合的技术，它所涉及的知识范围很宽，本书不可能全面加以阐述，仅以黑白与彩色电视图像的形成原理及彩色电视机典型电路的具体分析作为重点，并概括介绍新型大屏幕彩色电视机结构特点、特殊电路和提高彩色性能的新技术，为读者深入学习电视技术打下一定的基础。

第一节　基础知识

一、人眼的视觉特性

1.像素

将一幅黑白照片在放大镜下仔细观察，可以清楚地看到，照

片上的图像实际上是由许许多多明暗不同的小黑点组成的，这些小黑点称为“像素”。照片上像素的大小用来反映“亮度”的强弱。在画面“暗”的地方，小黑点的直径大一些；在画面“亮”的地方，小黑点的直径小一些。照片上画面的清晰度，与画面中像素数量的多少和观看的距离有关。画面中单位面积上的像素越多，画面看起来就越清晰。像素数量不变时，在稍远距离上看比近距离看更显得清晰。彩色照片中的图像也是由像素组成的，只不过像素的颗粒很小，人眼看不出而已。图像中的像素越多，表现的细节越丰富，看起来也越逼真。

2.人眼的分辨能力

人眼对黑白图像与彩色图像的细节部分分辨力是不同的，对颜色深浅变化的分辨力也有一定限度。

当我们观看两个相距很近的黑点时，眼睛与黑点间的距离不同，视觉的反映也不同。距离很近时，人眼可以识别两个黑点是分开的；把观看距离拉远后，就难以分辨两个黑点是分开的，只感觉到有一个黑点。

人眼对彩色图像细节的分辨能力比对黑白图像的分辨能力要低得多。我们可以做这样一个试验，取一幅具有黑白条纹的图像，在一定距离上人眼刚好能分辨出黑白条纹。若把它换成距离与尺寸相同的彩色条纹，人眼就分辨不出条纹的细节，而只能感觉是两种彩色混色的效果。这正说明，人眼对彩色图像细节的分辨能力是很差的。在彩色照片问世之前，照相馆常在黑白照片的相应部位涂上色彩成为彩色照片，并不去勾画彩色的细节部分，图像看起来也会十分逼真。根据人眼的这一视觉特性，在彩色电视图像中，也可以用黑白细节代替彩色细节。在传送彩色时，只需传送黑白细节（即高频成分），用以代替彩色细节，大面积的部分才传送彩色（低频部分），彩色图像就足以令人

满意了，这就是大面积着色原理。采用了大面积着色原理以后，彩色信号的频带宽度只有0MHz～1.3MHz左右，比亮度信号的0MHz～6MHz带宽缩小了很多，同时也容易解决彩色信号对亮度信号的干扰问题。

3.视觉暂留

当我们把手电筒的光柱射到墙壁上，并左右晃动手电筒时，在墙壁上会看到一道亮线。为什么一个亮点在快速移动时，人眼所看到的是一道亮线呢？这是由于人眼的视觉暂留作用（景像消失后，人的视觉还保留大约十分之一秒的短暂时间才消失的现象），有时也称为视觉惰性。

人眼面对一亮一灭交替变化的灯光，会产生一明一暗的闪烁感，若把一明一暗的变化频率提高到一定数值后，人眼就感觉不到这种闪烁。能够使人眼感觉不到闪烁的最低频率，称为闪烁临界频率。荧光灯在点燃后每秒钟要亮暗100次（这是因为交流市电的频率为50Hz，每秒钟电压过零100次），但是人眼看不到日光灯的闪烁，就是这个道理。

二、三基色原理

光是一种电磁波，分为可见光和不可见光两大部分。人的眼睛能够看到的光叫可见光，可见光的波长为0.4μm～0.7μm，仅仅占电磁范围内很小的一部分。像大家熟知的紫外线、红外线、X射线、γ射线等都是不可见光。波长最长的可见光是红光，随着波长的缩短，人们将会依次看到橙、黄、绿、青、蓝、紫色的光，这就是俗说的“七色光”。用三棱透镜可以把太阳光分成这七种颜色的光，雨后天空的彩虹是另一种太阳光的显现形式。反过来，将七色光混合在一起就会形成白光。

自然界的景物绚丽多彩，变化万端。目前，利用现代电视技

术去表现或传送这些彩色信息时，还无法做到把每一种彩色都变成电信号去传输、处理。大家知道，光有复合光与单色光，太阳光就是复合光。某种颜色的光，既可以是单色光，也可以由几种颜色的光复合而成。通过实验发现，选择合适的三种颜色的光，把它们按一定的比例合成，就可以得到各种颜色的光。合成后彩色的亮度由三种颜色的亮度之和来决定。这三种颜色称为三基色。对这三种基色的要求是：三种基色互相独立，也就是说，三种基色中任一基色都不能用另外两种基色来合成。

三种基色可以有不同的组别，在彩色电视中，三基色选择为红(R)、绿(G)、蓝(B)。将这三种基色按不同比例混合，可以得到任一颜色；相反地，自然界的千万种颜色均可以分解成不同比例的三基色光，这就是三基色原理。在电视技术中红光的波长为 0.7μm；绿色光的波长为 0.546μm；蓝色光的波长为 0.436μm。

传送彩色图像时，是把图像的千万种颜色按不同比例的三基色信号进行传送，接收电视信号时，再把三基色信号混合，就会重现原来图像的彩色。

电视技术中采用的是相加混合原理，混合效果为：

红 + 绿 = 黄

红 + 蓝 = 紫

蓝 + 绿 = 青

红 + 绿 + 蓝 = 白

为具体表现上述相加混色并便于记忆，绘出了图 12－1。图中只表现了七种不同颜色的光，当基色光的比例不同时，混合后的复合光颜色也会有所改变。

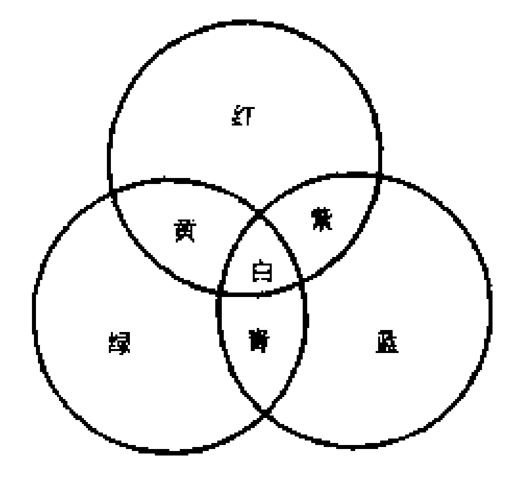


图 12－1　相加混色

三、亮度方程

从上述相加混色原理中我们已经知道，等量的红、绿、蓝三基色光可以合成白色光。值得注意的是，由于人眼的生理特性，对同样发光强度的红、绿、蓝光，人眼感觉并不相同。我们可以取功率相同的不同颜色的彩色灯泡同时点燃，可以感到绿、红两色灯泡较亮，而蓝色灯泡较暗，这也说明信号灯为什么常用红、绿两色而不用蓝色的原因。通过实验可知，在电强度相同的红、绿、蓝三基色光合成的白色光的总亮度中，绿光占59%，红光占30%，蓝光仅占11%，用Y表示三基色混合光的亮度，则可以列出以下的亮度方程：

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

在这个亮度方程中，Y和R、G、B也可以看作亮度与红、绿、蓝三基色的信号电压。这个公式很重要，以后要经常用到。

四、色差信号

给出了亮度方程，初学者会以为在彩色电视中只需传送三基色信号R、G、B就可以了。实际上并非这么简单，当三基色信号中有一个或几个信号受到干扰，都会使亮度信号Y受到干扰。为避免出现这种情况，在彩色电视中真正传输的信号并不是三基色信号R、G、B，而是基色信号和亮度信号的差值R－Y、B-Y和亮度信号Y。这里R－Y称为红色差信号，B-Y称为蓝色差信号。这样，当传送的图像无色时，$R-Y=0$，$B-Y=0$，不会出现彩色信号对亮度信号的干扰，同时，所传输的3个信号中有一个独立的、代表黑白图像的亮度信号Y，可以实现彩色电视和黑白电视的兼容。又由于亮度信号Y中已包含有三基色的信息，所以只要利用其中的两个色差信号与Y信号进行转换(加

或减)就可以得到第三个色差信号。由亮度方程可知,在 Y 信号中含有 0.59G,即所含 G 信号的分量比 R 或 B 信号的分量多,所以从 Y 信号中还原 G 信号比较容易得到高质量的信号。三个色差信号的数学表达式为

$$
\begin{aligned}
R-Y &= R-(0.30R+0.59G+0.11B)\\
&= 0.70R-0.59G-0.11B\\
B-Y &= B-(0.30R+0.59G+0.11B)\\
&= -0.30R-0.59G+0.89B\\
G-Y &= G-(0.30R+0.59G+0.11B)\\
&= -0.30R+0.41G-0.11B
\end{aligned}
$$

因为 $Y=0.30Y+0.59Y+0.11Y=0.30R+0.59G+0.11B$

所以 $0.30(R-Y)+0.59(G-Y)+0.11(B-Y)=0$

因此,从 R − Y,B − Y 中可求出 G − Y,即

$$
\begin{aligned}
G-Y &= -\frac{0.30}{0.59}R-Y-\frac{0.11}{0.59}B-Y\\
&= -\left[\frac{0.30}{0.59}(R-Y)+\frac{0.11}{0.59}(B-Y)\right]\\
&= -\left[0.51(R-Y)+0.19(B-Y)\right]
\end{aligned}
$$

由上式可见,只需传送 Y 与其中两个色差信号,第三个色差信号可由公式导出。所以,彩色电视中只传送 Y 与 R − Y 和 B − Y 三个信号,在接收端由这三个信号可以再还原出 G − Y。

五、空间混色与时间混色

按不同比例将两种或两种以上的颜色进行混合,即可以得到混色效果,根据人眼的生理特点,经实验可以发现,有空间混色、时间混色及生理混色三种情况。在电视技术中只利用了前两种混色现象。

空间混色的现象可以通过一个实验来说明。用两种不同颜色的彩笔(如黄色与紫色)画出相距很近颜色相间的竖条。在近处看时,可以分辨出两种不同的颜色,离开一定距离看时,就会感受到两种颜色的混色效果(如黄、紫混色为红色)。

时间混色也可以用实验来说明,在小孩玩的坨螺顶面上涂上不同颜色,当坨螺旋转起来以后,坨螺的顶面,就会显示出所涂颜色的混色效果。这说明当两种或两种以上颜色在同一处以较快速度轮流出现时,我们眼睛看到的是它们的混色效果,这就是时间混色的原理。

彩色电视机恰好是利用了上述空间混色与时间混色原理,使电视机屏幕上显现出绚丽多彩的画面。

第二节　电视图像传送原理

电视信号的发送与接收是整个电视广播系统的有机组合,是电视信号的摄取、加工、传输和用以重现图像的过程。在学习电视接收机原理时,很有必要大致了解电视图像的传送原理。

一、图像的分解与传送

1.静止图像的传送原理

光电管是把光信号转换成电信号的电子器件。当有光照射光电管时,光电管就会产生一个电压,电压的大小与光照强度成正比。光照强时,光电管输出电压高;光照弱时,光电管输出电压低;无光照时,光电管无电压输出。通过光电管把强弱不同时光变成了高低不同的电压 。我们可以设想电视摄像机是由许许多多这样的光电管组成。如图 12-2 所示,摄像部分用了 96 个光电管,相应地在接收端使用了 96 个发光管,这就意味着传

输系统传输的是96个像素。在摄像端有一个图像需要传送时，将发送端与接收端的像素一一对应，就可以把这些像素传到接收端，在接收端的一个个像素点上使用了发光管，它们随输入电压的变化而发出强弱不同的光，把发送端对应像素的亮暗在接收端表现出来。这种传送方法虽然道理很简单，但实现起来却是极为困难的。当代电视机上一幅图像大约有40多万个像素，采用上述同时传送方式要用40多万个通道来传送一幅图像，这是不可能实现的。为此又发明了静止图像的顺序传送方式。在图12－2中，发送端的一个个光电管分别与开关SA_1各触点相接，接收端的一个个发光管则与开关SA_2各触点相接。在发送图像时，开关SA_2与SA_1同步转换，不但速度相同，而且每一瞬间所连接的触点也相同。接收端的发光管把这些像素一个个顺序地显示出其亮暗。假定SA_1、SA_2转换速度极快，再利用人眼的视觉惰性，我们在接收屏幕所看到将是一幅完整的静止图像。这种方式只使用了一条传送通道，在技术上完全是可行的。

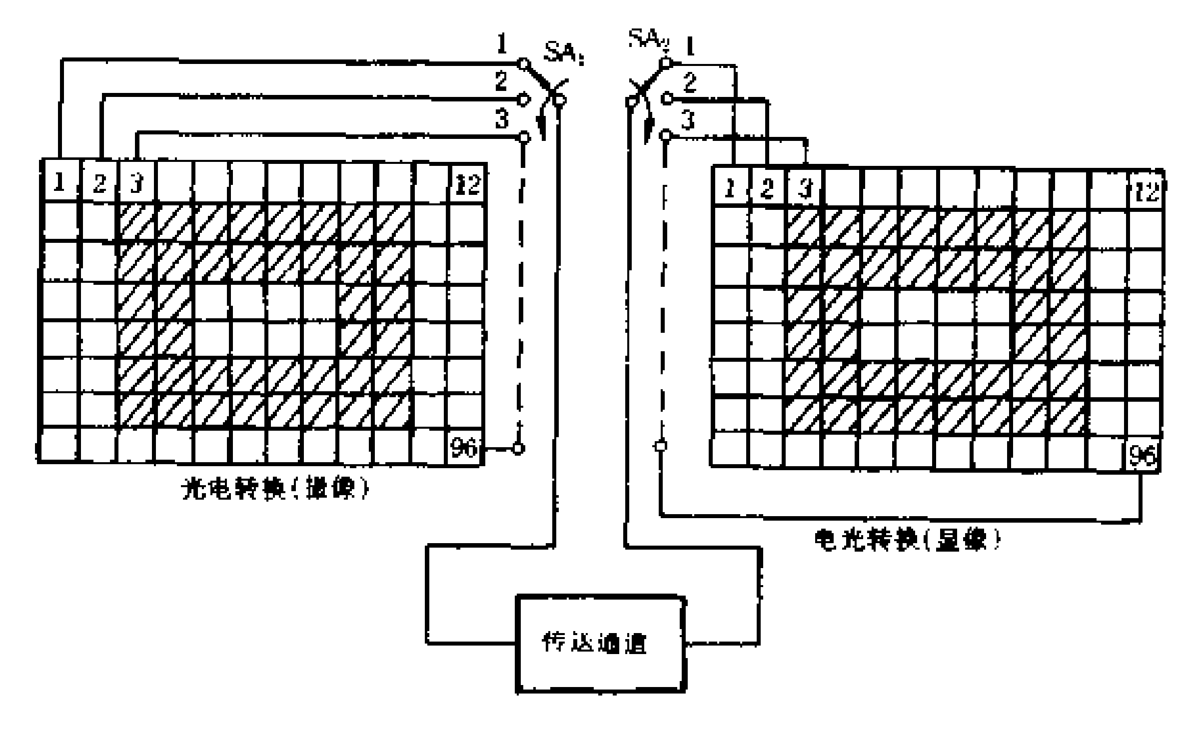


图12－2 静止图像的分解与传送

显然，这种顺序传送方式必须做到迅速而准确，即发送端的开关 SA_1 与接收端开关 SA_2 的动作必须严格地一一对应，若二者不能准确地同步，就会出现接收端屏幕上的图像混乱，无法重现发送端的图像。

通过以上的构想，读者不难理解电视图像的形成过程：把一幅画面分解成若干像素，每个像素都有自己确定的位置，并反映着这一位置的亮暗程度。为了传送这一幅图像，如同人们看书时要从左到右、从上到下地一字字、一行行地看下去一样，必须把每一个像素的明暗信息依次变换为电信号，按照像素在空间排列的位置，从左到右、从上到下地一行行地拾取和传送由每个像素产生的电信号，就可以把"空间位置"的不同亮度转换成按"时间顺序"出现的相应强弱的电信号了。然后，在接收端准确地实现这一过程的逆变换，就能重现这个画面的图像。

2.黑白图像的光电转换原理

电视图像的摄取与重现都是利用了光—电—光的转换原理，目前电视广播系统中所采用的光电转换器件是摄像管与显像管。

(1) 摄像原理

图 12－3(a)是光电摄像管的示意图，图 12－3(b)是光电靶的示意图；图 12－3(c)是黑白显像管的示意图。

光电摄像管是一个真空电子管，它主要由电子枪、光电靶以及聚焦及偏转电路等部分组成。

电子枪的作用是发射电子，散射的电子在聚焦极作用下集中成一束很细的电子束，在高压作用下以一定的速度轰击光电靶，与此同时，电子束在偏转电路的作用下，从左到右、从上到下地对整个光电靶进行逐行扫描，以便把光电靶上每一点的光亮程度都变换成相应的电压信号输出。

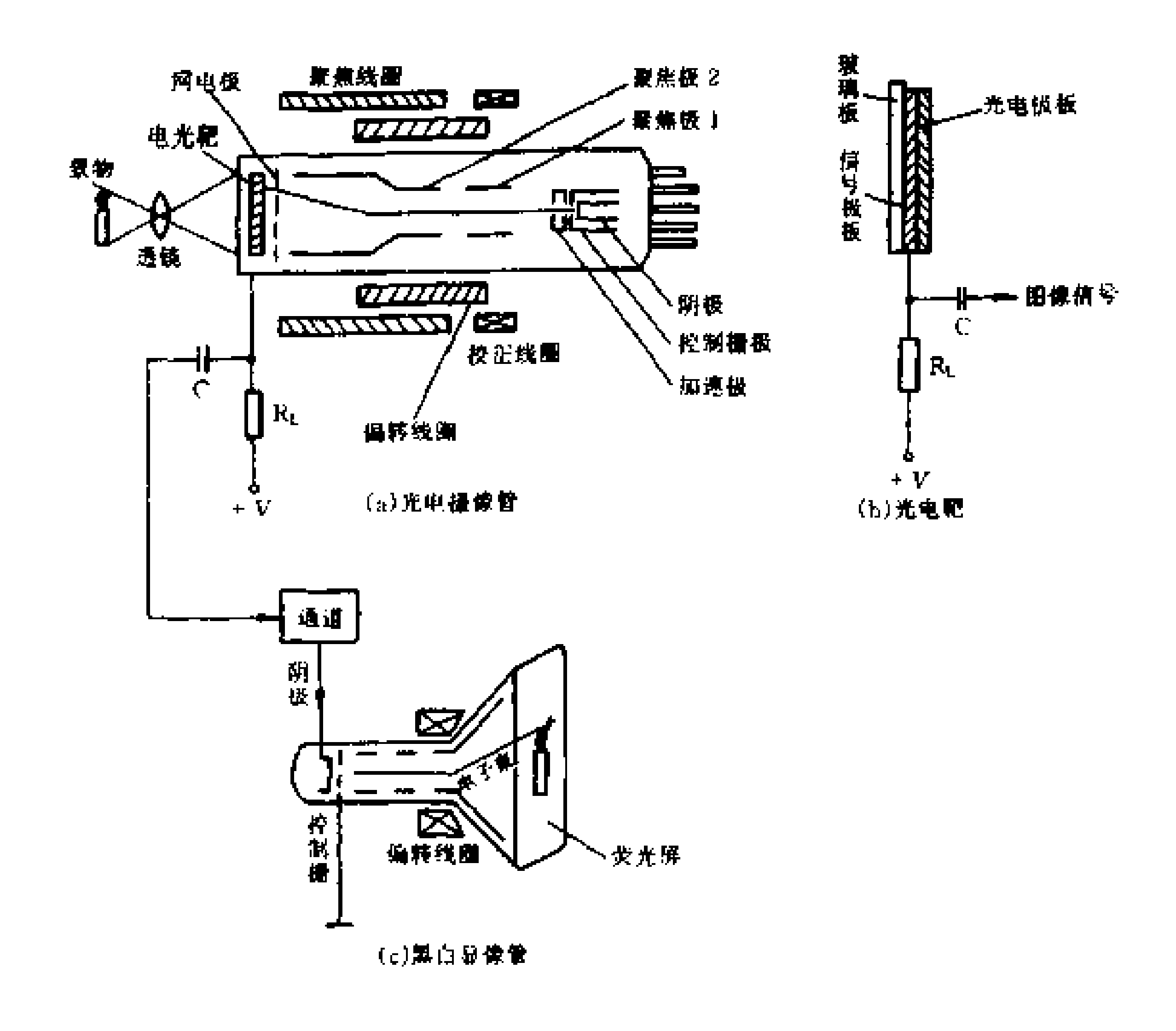


图 12-3 摄像与显像原理

为了说明光信号如何变成电信号，在图 12-3(b)中单独画出了光电靶的示意图。光电靶对着图像一侧为信号极板，这是一层很薄的透明金属导电层，它的透明度高，导电性能好。在信号极板的上面为光电极板，它是由真空蒸镀在信号极板上的具有光电效应的半导体材料构成，无光照时，它的电阻值很大；受到光照时，在光照点的电阻值便随着光的强度大小而成比例地减小。按照我国 PAL 制标准，整个光电靶靶面可以分割成为四十多万个像素。

当光电靶靶面无光照时，光电极板各处的电阻值都很大，电子束打在光电靶上不会形成电流，因此图 12-3(a)中 R_L 上没有

电压降；当光电靶上有光照时，受到光照部分的电阻值显著降低。电子束从左到右、从上而下地快速扫描着，当电子束扫描到有光照的位置时，因为此处电阻值很低，产生的电流经外电源 +V通过 R_L 及电子束形成通路，在 R_L 上产生一个与光照强度相对应的电压，这就是与该像素相应的电信号。外界光照越强，此处电压越低；外界光照越弱，此处电压越高。当光电靶上有明暗相间的图像时，随着电子束的不断扫描，在 C 的输出端就把代表一个个像素的不同高低电平连续不断地传送出来，转换成负载电阻 R_L 上一连串的按时间顺序出现的电信号（图像信号），从而完成了由光到电的转换。

(2) 显像原理

目前，电视接收机的显示器件绝大多数还在使用阴极射线管（即 CRT），在本书第一章曾介绍过，它也是一种电真空器件，由玻壳、电子枪与荧光屏等三部分组成[图 12－3(c)]。电子由阴极发射，受到电子透镜及阳极高压的作用，形成一束很细的电子束，并以很高的速度轰击荧光屏。在偏转磁场的作用下，电子束在荧光屏上从左至右、从上至下地连续扫描，与摄像管上的扫描完全相同。黑白显像管的荧光屏内表面均匀地涂有一层荧光粉，在电子束的轰击下能发出白光，发光强度与电子束的能量成正比。荧光屏上各个像素点的亮度与摄像管各对应点的亮度成比例，从而使屏幕上重视摄像管上的图像。

3. 彩色图像的光电转换

彩色电视技术是在黑白电视的基础上发展起来的，由于应用了三基色原理以及人眼的混色视觉原理，才使得彩色电视技术得以顺利实现。根据前面介绍的三基色原理，发射端的彩色摄像机把景物的各部分光线分解成三幅基色图像，也就是红、绿、蓝三个基色分量。三幅基色图像叠加就形成了图像信号的总亮度及各

种色彩的分量。彩色电视就是把彩色图像分解为三种基色信号，然后再用一个通道发送出去。在接收端，电视接收机再将三个基色信号合成原来的彩色图像，这一过程如图12－4所示。

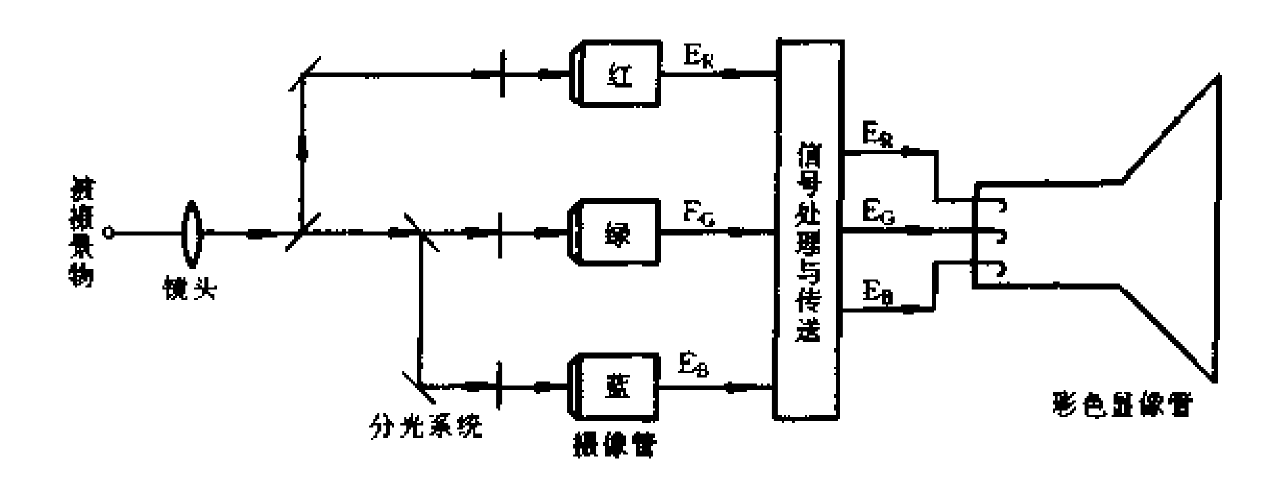


图 12－4　彩色图像的传送

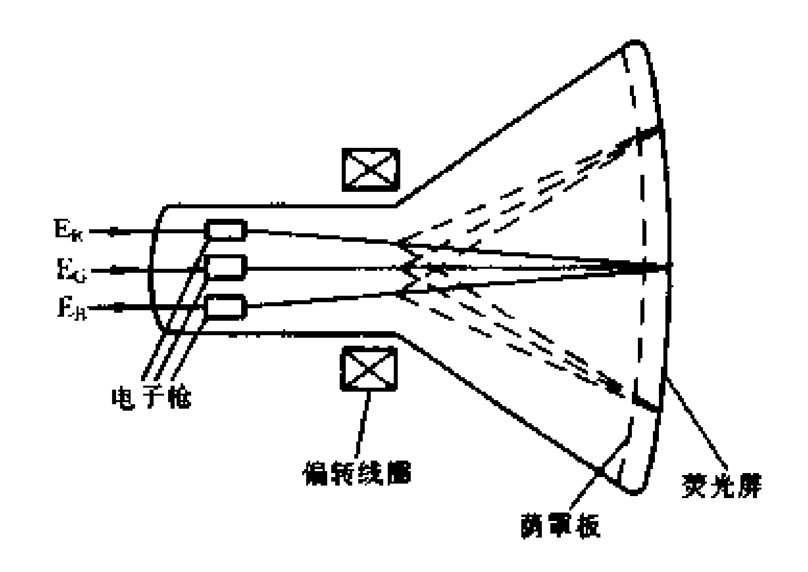
（1）彩色图像的光电转换

彩色图像的摄取实际上与黑白图像的摄取并无本质上的差别，只不过多了一套分色系统并使用了三套摄像管。图像摄取后，利用分色棱镜把彩色图像分解为红、绿、蓝三种彩色分量，再用三个与黑白摄像管相同的摄像管，把三基色光转换成相应的电压信号 E_R、E_G、E_B。经过信号处理与传输，三基色信号送到移色显像管中用以重现彩色图像。

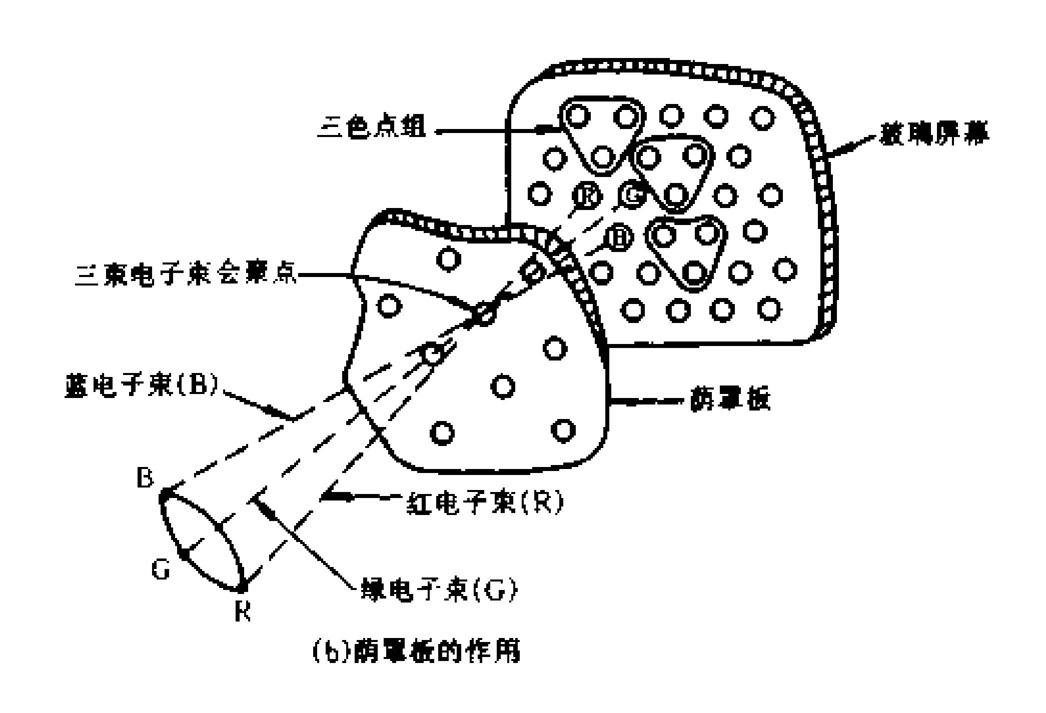
（2）彩色图像的重现

为了说明彩色图像的重现过程，我们用图 12－5 所示的三枪三束荫罩式彩色显像管进行说明。

在荧光屏上涂有上百万个能发出红、绿、蓝三种色光的荧光小点，它们的直径还不到 0.1mm，荧光小点按照红、绿、蓝一行接一行顺序排列，红、绿、蓝相互错开。在距离荧光屏大约 1cm 的地方，安装了一块薄钢板制成的荫罩板，板上有 40～50 万个小孔，每个小孔都严格地同一组红、绿、蓝荧光小点相对应。



(a)电子束的偏转



(b)荫罩板的作用

图 12-5 荫罩式彩色显像管

彩色显像管是利用空间混色的原理工作的。在图 12－5(a)中，红(R)、绿(G)、蓝(B)三个电子枪分别发出三束电子束，它们一同穿过荫罩板上的某一个小孔后分别打中相应的三色荧光小点，这一组三色荧光小点就是一个彩色像素，由于 R、G、B 三枪打出的电子束强度不同，三个荧光小点的发光强度也不同。因为这三个小点很近，在一定距离上观看时，看到的是它们的混色效果。三枪电子束在不断扫描轰击中，使三色荧光粉按电子束强度发光，构成了一幅彩色图像。

图 12－5(b)表示了荫罩板的作用。三束电子束应当在小孔处聚合在一起，穿过小孔再打在相应的荧光小点上，使显色正确。会聚不准的电子束则被荫罩板挡位，避免产生色彩的混乱。

4. 活动图像的产生与传送

由于电视不能只是再现静止图像，还要能再现活动图像，活动图像包含着更多的信息，因此我们还需要了解静止图像是如何变为活动图像的。

100 多年以前，美国有人做了这样一个实验，他把一连串的马在奔跑的照片连在一起，然后用手拉动照片，他看到照片上的马仿佛奔跑了起来，这一发现为电影的发明打开了思路。电影机在放映过程中，最初每秒钟通过镜头的胶片为 24 幅，在银幕上放映时，银幕上的图像有闪烁感。为消除这一现象，人们又在电影机上加了一个机构，使每幅图像的胶片通过镜头时遮光一次，每幅图像实际上放映了两次，变成了每秒放映 48 幅图像，从而消除了闪烁现象。

电视放映活动图像的基本原理与电影完全相同，只不过在电视中每秒传送了 25 幅图像。为了避免观看时的闪烁现象，同时又不增加每秒传送的信息量，也把一幅图像分为两次传送，这就是电视技术中的把一帧图像分为两场的传送方式。

电视技术中把一帧图像分为两场传送，每秒要传送 50 场，正好与我国市电频率相同。采用与市电同频的场频，还可以减小市电对电视机的影响。

二、电视扫描原理

电影是通过每秒放映 24 幅连贯的画面形成活动图像，电视系统传送活动图像却不完全相同。电视图像是由一个个小小的像素组成，如何把这些像素的明暗变化表现出来，这是电视技术要解决的首要问题。在电视机的屏幕上用一支由电子束形成的打在荧光粉上能够发光的“笔”，从左向右、自上而下地快速地把图像描画出来。当电子束射向荧光屏的某一点时，这一点的荧光粉就被打亮了。这一荧光小点的亮暗程度与电子束的能量大小成正比，这个小点就是组成电视图像的像素中的一个。电子束只有一束，一幅图像却有几十万个像素，为了能在电视屏幕上显示出一幅完整的图像，电子束就要以飞快的速度从左上角开始，一行行地一直扫描到右下角，一秒钟内要扫完 25 幅画面。为什么人眼看不到一个亮点在飞快地扫描，看到的却是整个屏幕所显示的稳定图像呢？就是利用了人的眼睛具有的“视觉暂留”现象。电子束扫过以后，荧光粉的亮点已随之熄灭了，但人眼却感觉这个点还在亮着。由于电子束扫描的速度很快，扫过的荧光粉熄灭的感觉还没有出现时，电子束已经把整个屏幕扫了一遍，所以人眼会感到整个屏幕都在发光。

1. 逐行扫描

电子束的扫描形成了光栅。假如扫描过程是一行紧接一行地自上而下的扫描，就称之为逐行扫描。电子束为什么能有规律地进行扫描呢？这是因为在显像管和摄像管外部都装有行和场的偏转线圈，在线圈中分别流过行、场锯齿波电流，产生了水

平与垂直两个方向的偏转磁场，电子束受到偏转磁场的作用，就会有规律地进行扫描。图 12－6 是逐行扫描在屏幕上形成光栅的情况。图中只画了电子束从左向右的扫描，这段时间称为行扫描正程，图像在这段时间内显示。电子束扫完第一行后，又从最右端再回到第二行左边的起始端，这段时间称为行扫描逆程，在行扫描逆程的时间内，电子束应关闭，否则回扫的亮线会影响正常图像的显示。

2．隔行扫描

一般电视接收机中，为了压缩视频信号的频率，采用了隔行扫描方式。在从上向下的扫描中，先扫描 1、3、5、7、9……等奇数行，扫完奇数行后再扫描 2、4、6、8……等偶数行，一帧图像间隔着分成两幅，交替显示，把奇数行与偶数行互相镶嵌在一起，形成一幅完整的图像，见图 12－7 所示。

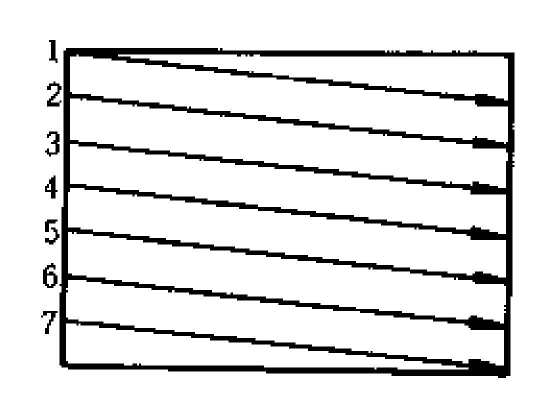


图 12－6　逐行扫描

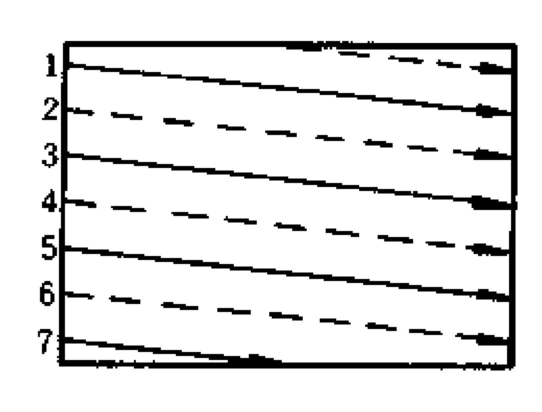


图 12－7　隔行扫描

我国电视制式规定，一帧图像由 625 行组成，隔行扫描，一帧分为两场，每场扫描 312.5 行。在 625 行中，真正能够显示图像的只有 575 行，其余 50 行处在场的回扫期中，不能显示图像。

为了形象地说明电子束是在扫描电流的驱动下完成的，将扫描电流与电子束扫描线之间的关系表示于图 12－8 中。

行扫描电流波形示于图 12－8(a)。图中每一条锯齿波电流正程标为 1、3、5、7、9，对应于图 12－8(c)中的 1、3、5、7；行扫

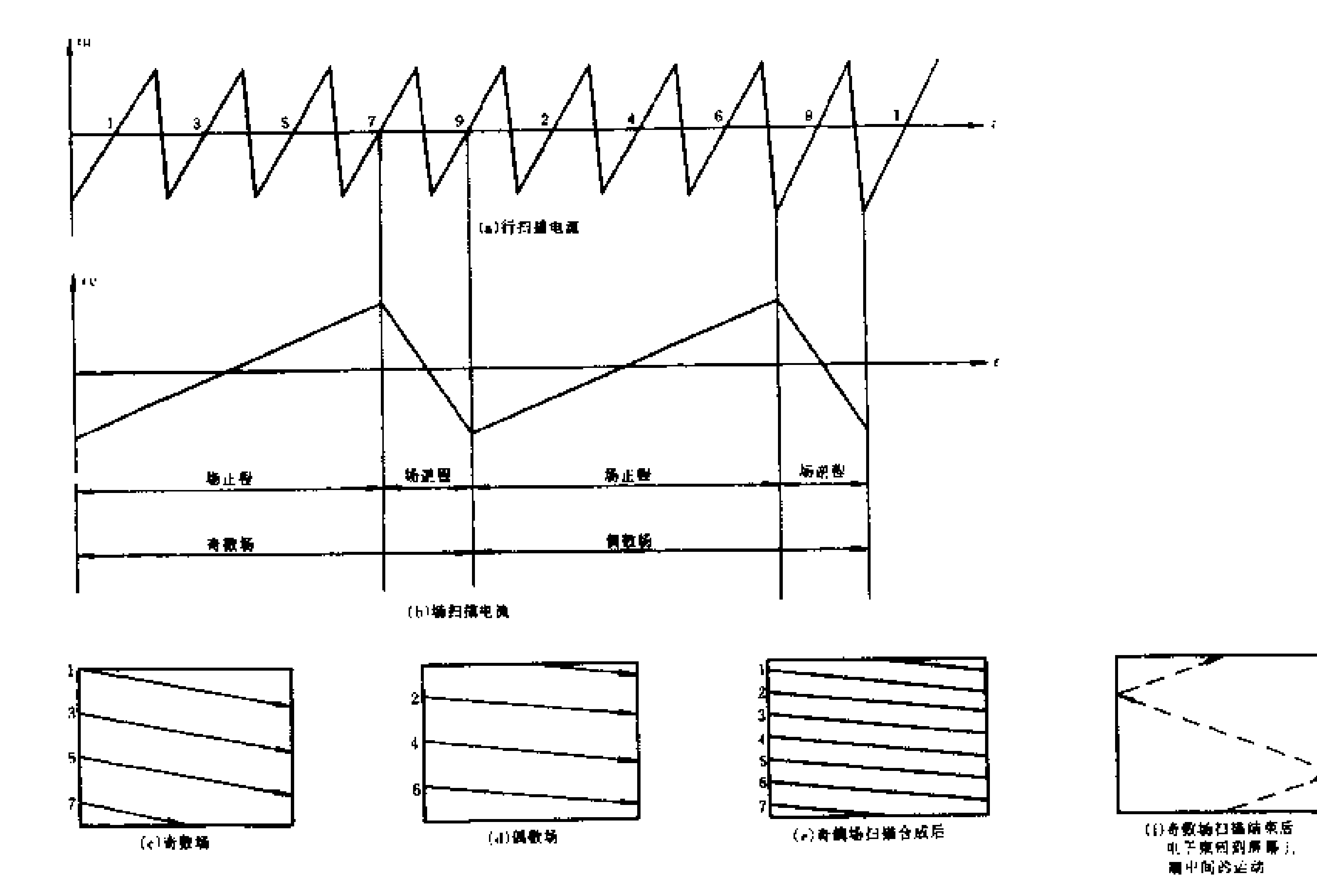


图 12－8　扫描电流与电子束扫描路径

描电流中的2、4、6、8对应于图12-8(d)中的2、4、6。应该注意的是，在图12-8(c)中的第7行半行与第9行在屏幕上没有显示，在图12-8(d)中只有第9行的后半行，而第8行在屏幕上没有显示。这是因为第7行后半行与第9行前半行以及第8行均处于场扫描的逆程之中，见图12-8(e)所示。在场逆程期间，不论行的正程、逆程均不能显示出来，否则会造成回扫亮线的干扰。当奇数场结束于第7行半行再回到屏幕最上方开始偶数场时，电子束回扫的路程见图12-8(f)所示。

奇数场、偶数场都扫完后就形成了一帧图像的光栅，两场之间互相均匀地镶嵌在一起形成了7行扫描，另外有2行处于场逆程时间内，所以它应该称为9行扫描。625行扫描的原理与9行扫描原理完全一样。

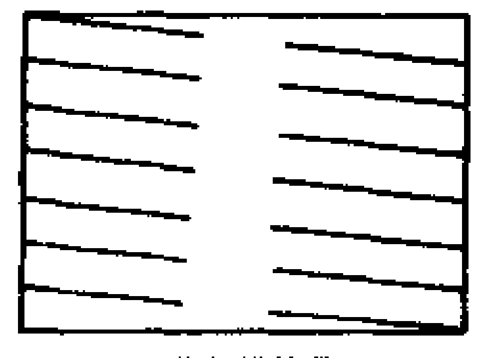
电子束扫描形成光栅，只是显示图像的第一步，要使电视接收机屏幕上的扫描与发射台摄像机中的扫描完全一致，重现摄像管拍摄的图像，还需要有扫描同步信号。

3. 扫描的同步

同步是指显像管中电子束在荧光屏上的扫描规律必须与接收机中显像管的电子束扫描规律完全一致。这就要求不但扫描频率要相同，而且每次开始扫描的时间也要相同，只有这样，接收机屏幕上才能显示出与摄像管光电靶上完全相同的图像。

如果电视机中行扫描的速度(行频)高于发射机中摄像管的扫描速度，就会出现图12-9中所示的情况。图12-9(a)是摄像管中拍摄的一定宽度的竖亮带，它由7条扫描线组成。图12-9(b)为接收机显像管屏幕上出现的情况。因为接收机的行扫频率高于发送端，所以当摄像管电子束第一行扫到白色竖亮带时，接收端第1行显示的白色亮带已向右移动了一小段距离；第2行显示时又移动了一段距离，依次递推，接收端显示的成了向

右下方倾斜的亮带。当接收端行扫描频率低于发送端时，屏幕上的图像将向左下方倾斜，读者可以自己分析。


(a)摄像扫描情况

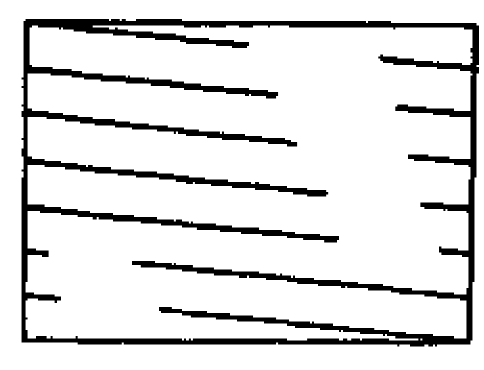
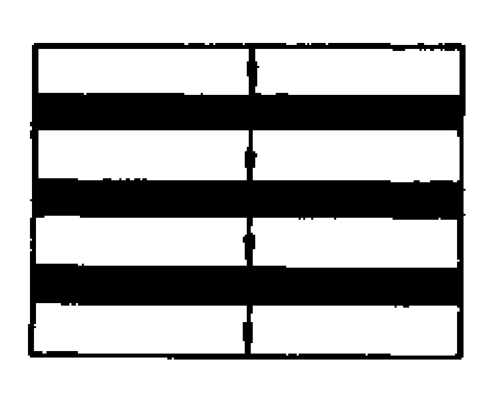
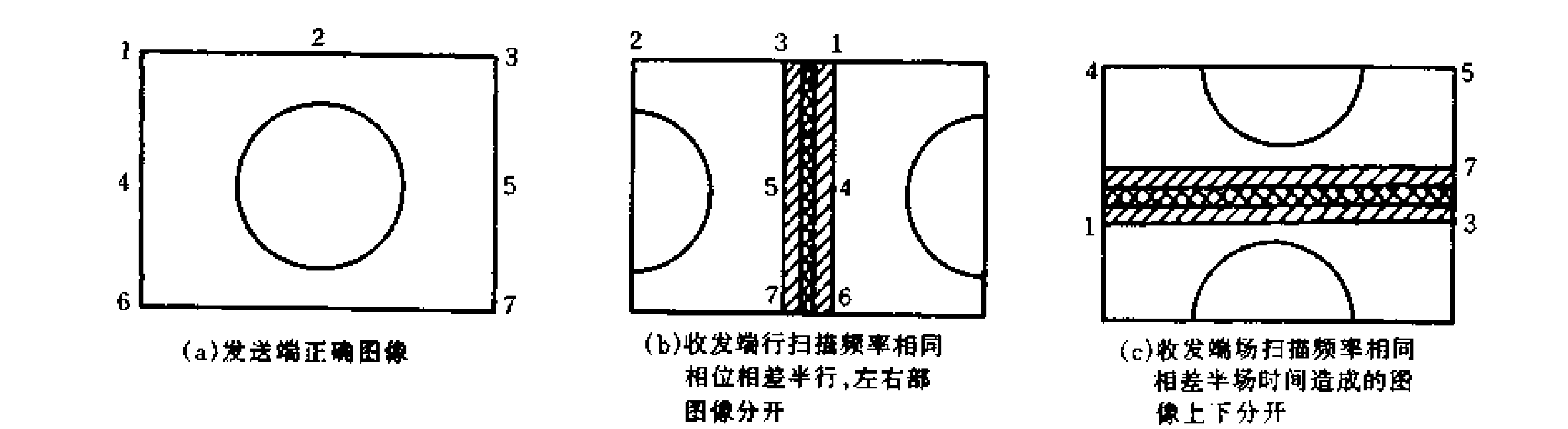

(b)接收端行频高时的显像情况

图 12-9 接收机行频高的情况

假如在接收机的场扫描电路中场扫描的速度(场频)高于发送端，可以想见，发送端扫描完一场到达这一场的最后一行时，由于接收端的频率高，早已扫描完一场并开始了下一场的前几行扫描。因为发送端每发送完一场后都要发出场消隐，这个场消隐是一个黑色电平，正常扫描时看不到，但若接收机扫描快，扫描完一场后场消隐将会出现在屏幕上端。按照这种规律，这个场消隐会逐渐下移，看起来将有一条黑带在屏幕上从上向下移动，如图12-10所示。相反，当场频低于发送端时，黑带将从下向上翻滚。频率相差越大，黑带移动速度越快。


图 12-10 场频高于发送端时的情况

如果扫描频率相同，但摄像管与显像管电子束的起始点不同(即相位不同)，在接收端也不能正确显示发送端摄取的图像。图 12-11(a)是正确图像。图 12-11(b)是行扫描频率与发送端相同，但在时间上相差半行造成的图像左右分开的情况；图 12-11(c)为收发端场频相同，但收端与发



(a)发送端正确图像

(b)收发端行扫描频率相同相位相差半行，左右部图像分开

(c)收发端场扫描频率相同相差半场时间造成的图像上下分开

图12－11　重显相位不同时的情况

端相差半场时间造成的图像上下分开的情况。

由以上分析可知，要使接收端显示的图像与发送端完全一致，就要使接收端扫描起始点与发送端相同。为此，发送时在图像信号中要加入同步信号，作为收、发两端扫描的时间基准（“发令”信号）。每一行图像的开始时，加入一个幅度高于图像信号的行同步信号；每一场开始时，加入一个场同步信号。为使行、场同步信号有所区别，它们的脉冲高度相同，但脉冲宽度不同。

行、场同步信号是随着图像信号共同发送出去的，为防止同步信号显示在屏幕上造成干扰，使行同步处于行扫描的回扫期，在这期间是不显示图像的；场同步脉冲处于场回扫期，也不会对图像有任何影响。

4. 消隐与同步

(1) 消隐脉冲

电子束在屏幕上从左向右的扫描称为“行扫描正程”，在这段时间内电子束一方面在荧光屏上飞速扫过，同时也根据电视台发送的图像信号不断变换能量大小，使点亮的荧光小点与摄像机上的图像亮度成正比，以便把整幅图像显示出来。当一行扫完电子束到达最右端时，应再回到屏幕左侧开始下一行的正程扫描。电子束从右侧回到左侧的过程称为“回扫”，电子束在回扫时应关闭，否则回扫的亮线会干扰正常图像的显示，在光电靶和荧光屏上留下回扫线。为此，电子束在回扫期间，在电子束的控制电压中加入一个具有一定时间宽度的高电平（黑色电平）的脉冲，称为行消隐信号或行消隐脉冲。这个行消隐脉冲能使电子束在回扫期关断。除了行消隐外，在场回扫期间，也要发一个场消隐脉冲，使处于场回扫期的行扫描的正程与逆程均被消隐掉，行消隐脉冲和场消隐脉冲合在一起称为复合消隐信号。消隐脉冲、同步脉冲与图像信号的波形见图 12－12。在图

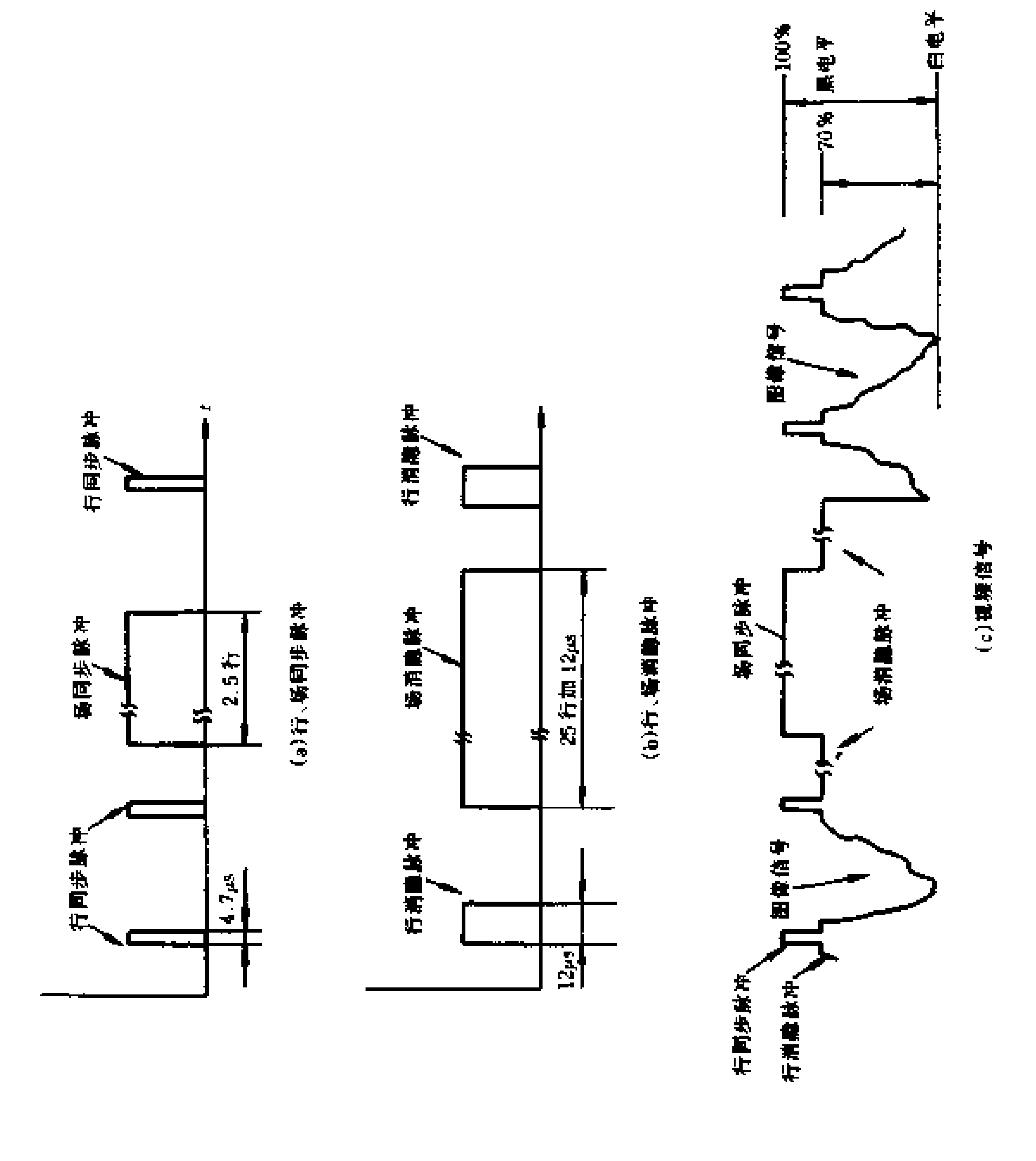


图12-12 行、场同步与消隐脉冲及视频信号

12－12(a)中，行同步脉冲的宽度只有4.7μs，场同步脉冲的宽度为2.5行的时间，大约为160μs。行、场同步脉冲宽度不同是为了便于把它们分开。行、场消隐脉冲示于图12－12(b)中。行、场消隐脉冲宽度比行、场同步脉冲略宽，行消隐为12μs；场消隐为25行时间加12μs，大约为1612μs。

行、场同步脉冲与行、场消隐脉冲是利用其幅度不同来区分的。由图12－12(c)中可以看出，假如以行、场同步头高度为100%，则消隐脉冲高度为70%(黑电平)。

(2) 同步脉冲的分离

有了行、场同步脉冲，为了让他们分别去行、场的扫描电路，还要把它们从电视信号中分离出来。从电视信号中分离出行、场同步信号很简单，因为行、场同步脉冲的高度最高，设置一个标准电平就可以把行、场同步信号切割出来。行、场同步信号再分开就得利用其脉冲宽度的不同的特点，用微分电路取出行同步脉冲；用积分电路取出场同步脉冲，如图12－13所示。图12－13(a)为微分电路；图12－13(b)为积分电路。

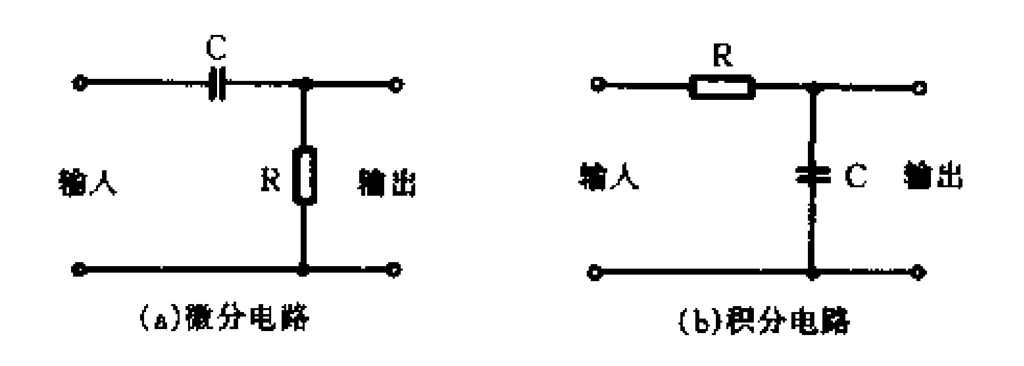


图12－13　微分与积分电路

当输入信号的脉冲宽度不同时，微分、积分电路的输出波形也不同，如图12－14所示。图12－14(a)为输入脉冲波形，这是两个宽度不同的脉冲。在微分电路输出端，对应脉冲上升沿均为一正尖脉冲；对应脉冲下降沿为一负尖脉冲，如图12－14(b)

所示的波形。若把这一宽一窄的脉冲输入到积分电路中，输出波形将如图 12-14(c)所示，窄脉冲输出为一幅度很小的脉冲，宽脉冲输出的幅度则相对很高。通过这种办法就把行、场同步分离开了。

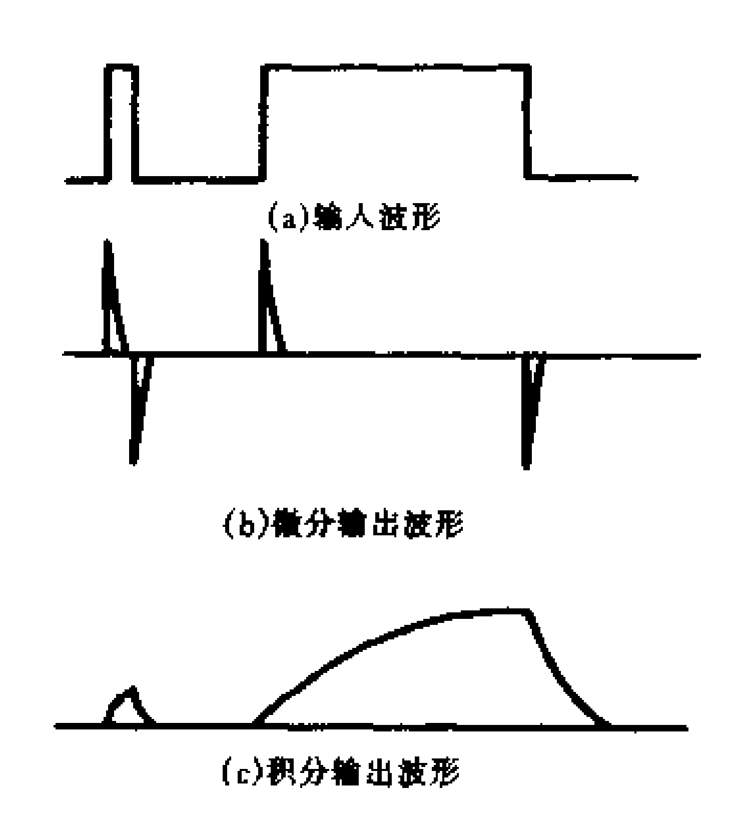


图 12-14 微、积分电路的输入输出波形

在图 12-15 中，行、场同步脉冲接入微分电路后，在输出端得到了图 12-15(b)中的一系列正、负方向的尖脉冲，触发行扫描电路只需要正方向的尖脉冲，把这些具有正负方向的尖脉冲信号经过一个二极管削波电路，就可以得到正方向的尖脉冲，如图 12-15(c)所示。

注意看图 12-15(c)的波形将会发现，在场同步脉冲期间，有两个或三个由行同步脉冲形成的尖脉冲丢失了，初学者可能会想象在 300 多个行同步脉冲中丢失两三个脉冲似乎无关紧要，实际上所丢失的行同步脉冲均处于一场的开始，后果是在屏

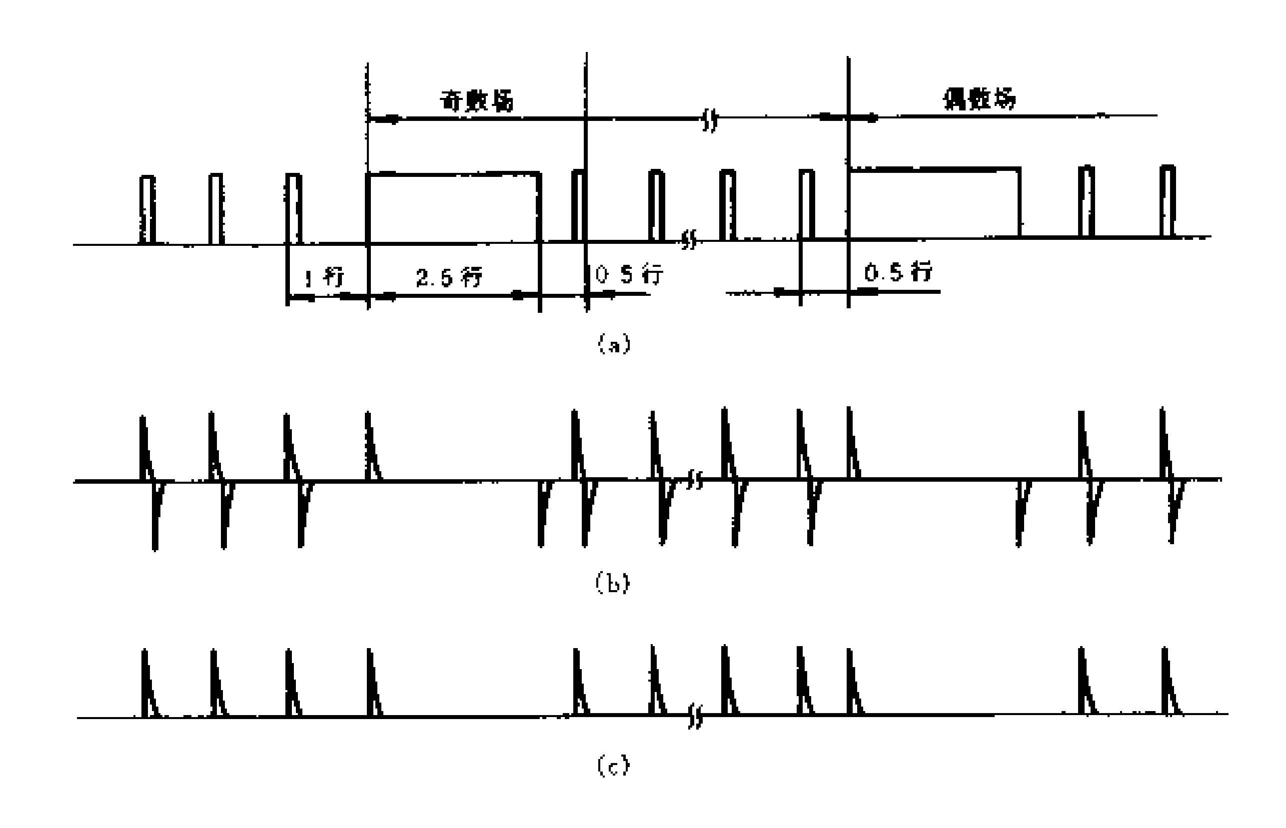


图 12－15　行、场同步脉冲微分后的波形

幕上方总会有几行不同步，造成图像上部扭曲，这种情况必须设法避免。

5. 场同步脉冲的开槽与均衡脉冲

为了防止图像上部扭曲，就要求在场同步期间不要丢失行同步脉冲，为此，在场同步脉冲上开槽再经微分后可以得到行同步尖脉冲，如图 12－16 所示。

图 12－16(a)为偶数场结束奇数场开始；图 12－16(b)为奇数场结束偶数场开始；图 12－16(c)为图 12－16(a)波形微分并经过二极管去掉负向脉冲后的波形图；图 12－16(d)为图 12－16(b)波形微分并经二极管去掉负向脉冲的波形。显然，在场同步脉冲上开槽解决了行同步脉冲丢失的问题。利用上述同步脉冲，虽然可以获得稳定的逐行扫描，但是，用于隔行扫描却仍不理想。这是因为开槽脉冲在奇、偶两个场同步信号上的位置不同，两个场同步脉冲的前沿(上升沿)距前一个行同步脉冲的时

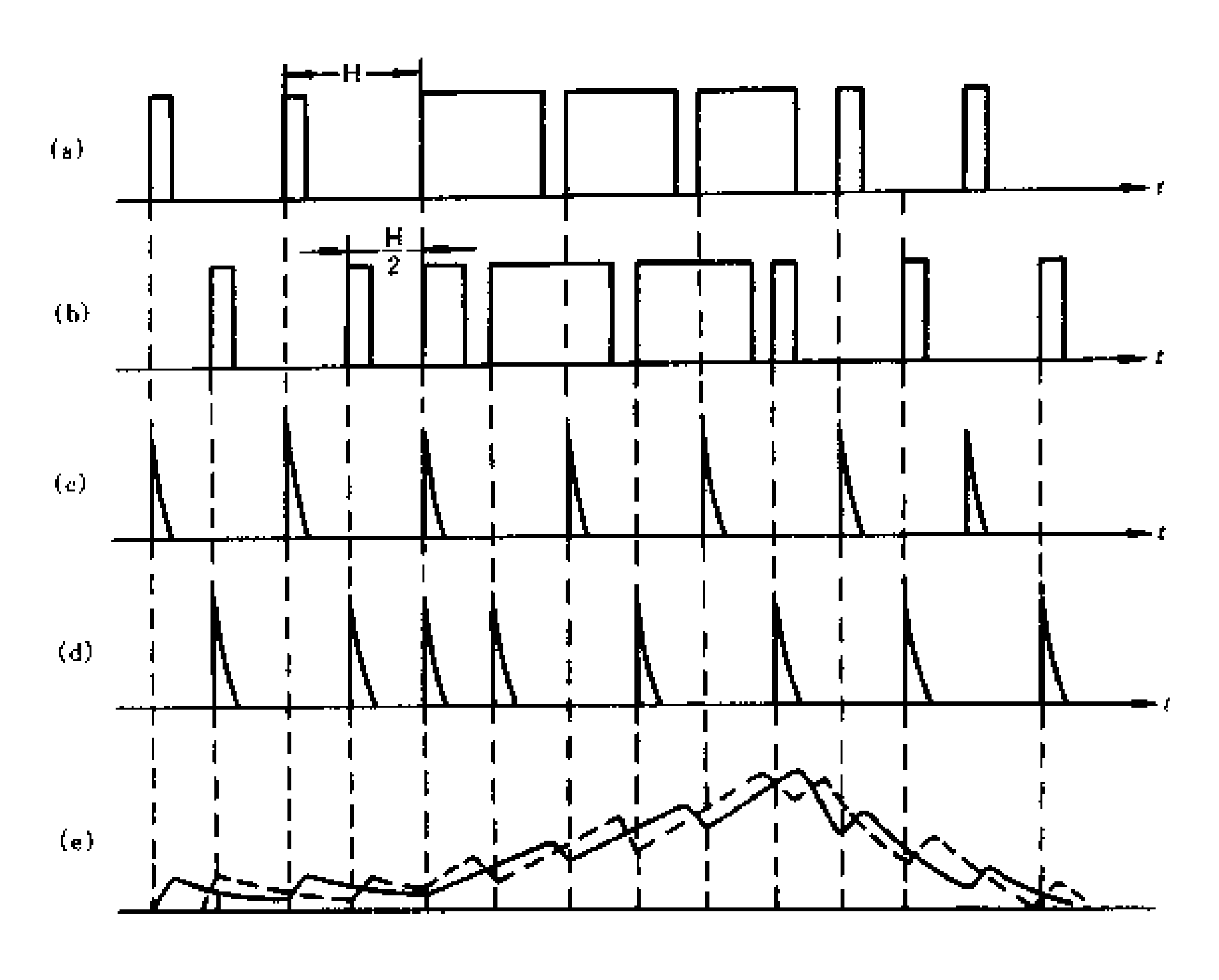


图 12－16　场同步脉冲开槽后经过微、积分后的波形

间间隔也不同[见图 12－16(a)和(b)]，这个间隔为 1/2H，即$\frac{1}{2}$行，因此，通过积分电路后，两场积分电压的增长规律略有差异，如图 12－16(e)所示。图中，实线为奇数场同步信号积分波形，虚线为偶数场同步信号积分波形。由于接收端隔行扫描的质量取决于场同步作用的准确性，所以，如果相邻两场的场同步作用在时间上不一致，就会使隔行扫描不准确，造成图像的垂直清晰度降低。

为解决奇偶场同步信号积分后波形不重合的问题，可以在场同步脉冲的前后各加 5 个均衡脉冲，时间宽度为 2.35μs，位置在 1/2 行处；同时在场同步头上增加开槽，位置为 1/2 行。经过这样的处理，奇、偶场同步信号积分后的波形就会完全重合，保

证了隔行扫描的准确性。

三、电视图像信号

有了合适的行、场同步脉冲与消隐脉冲，就为正确显示图像打下了基础。图像信号是处于行同步脉冲之间的一连串高低不同的电压信号。在前面已介绍过黑白图像的光电转换原理，在摄像管中，电子束扫描电子靶上的图像，图像上明暗不同的像素就转换成按时间顺序排列的高低不同的电压——黑白图像信号。用电压的高低代表图像的明暗，所采用的是亮的像素点电压低，暗的像素点电压高，称为负极性图像信号。目前绝大多数国家均采用负极性图像信号。

1. 黑白电视图像信号

为了说明电视图像信号的特点，以亮暗不同的五条竖条图像为例进行说明，见图 12－17 所示。以行同步为 100%，黑电平为 75%（同时也是消隐电平），白电平为 12.5%。在时间上看，行扫描正程的 52μs 传送图像，行消隐的 12μs 中为黑电平，电子束处于回扫期不显示图像。在屏幕上显示的五条不同明暗的图像，对应图 12－17(b)的一行视频信号，图像中最暗处，视频为 75%的黑电平；屏幕上最右侧的最亮处，视频电平为 12.5%的白电平，其余为中间各层次。在图 12－17(b)的视频信号中包含着图像信号、消隐信号与行同步信号。

2. 黑白全电视信号

把黑白图像信号、复合消隐信号和复合同步信号组合在一起，就构成了黑白全电视信号。在场同步脉冲的前后加有均衡脉冲，在场同步脉冲中间有开槽，这种黑白全电视信号示于图 12－18 中。图中，同步脉冲是向下画出的。

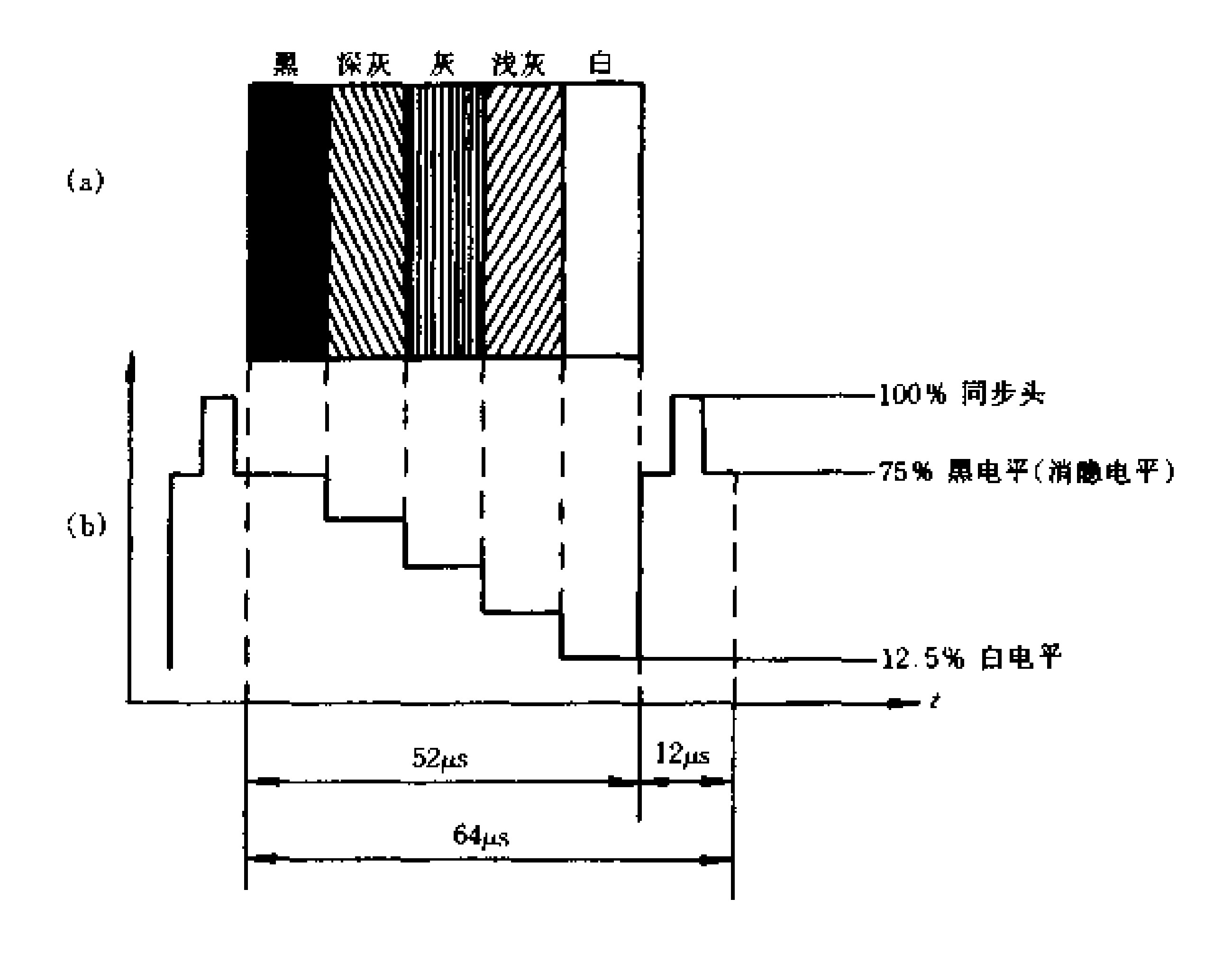


图 12－17　图像与视频信号

3. 亮度信号的频谱及频谱交错原理

在研制彩色电视的初期，就考虑到彩色电视与黑白电视的兼容问题。所谓“兼容”，就是指黑白电视机可接收彩色电视信号(图像是黑白的)；彩色电视机也可接收黑白电视信号(图像也是黑白的)。关键问题是在原来设计传送黑白电视信号的频率宽度内，能否把彩色电视信号也装入这个频带内，既不会对原来的黑白信号造成干扰，又增加了彩色电视信号的内容。

我们首先对黑白电视信号的频谱进行分析。大家知道，在彩色电视中，把代表明暗的信号称为亮度信号，它和黑白电视信号完全一样。在黑白电视信号中，最低频率为 0，表现在屏幕上大面积背景为某一固定不变的灰度；最高频率为 6MHz，所以亮

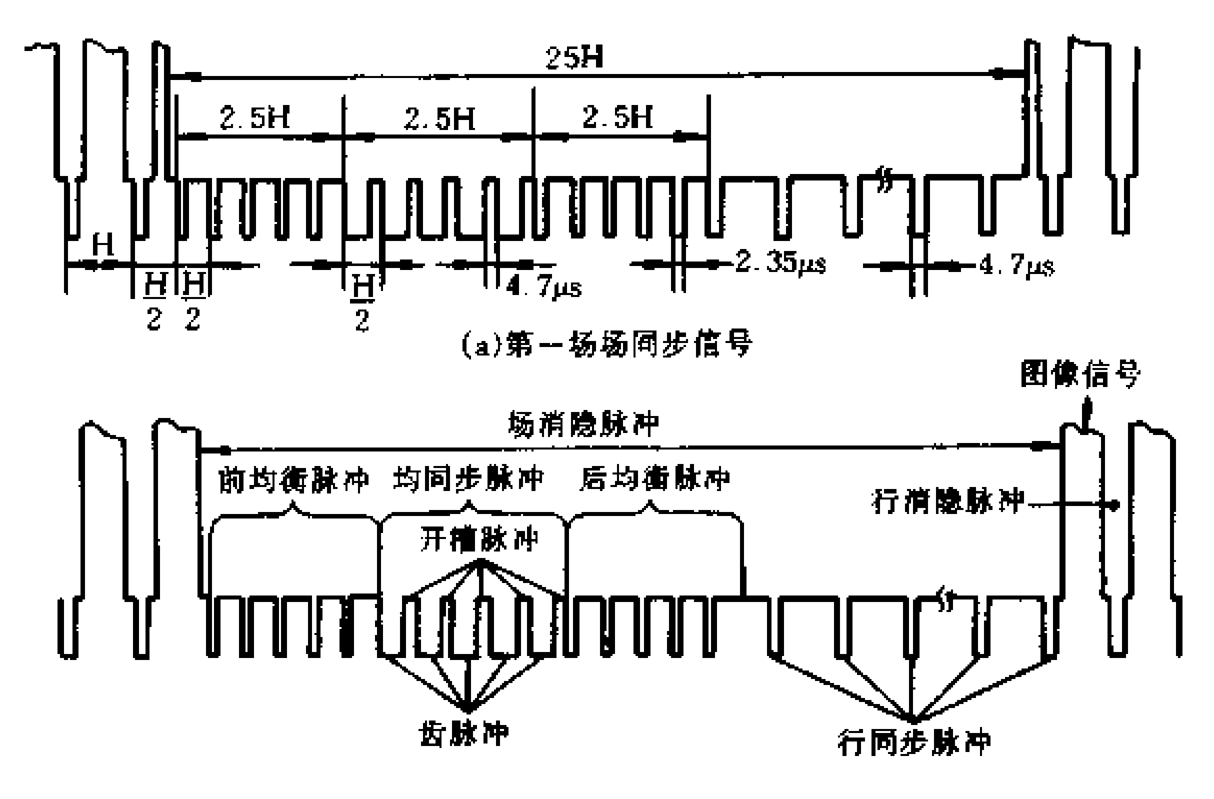


图 12-18 黑白全电视信号

度信号的频带宽度为 0MHz~6MHz。在这么宽的频带内是否均匀地充满了各种频率成份呢？经分析与实验证明并不是这样，由图 12-18 中的波形可见，在亮度信号中最有规律的是行同步与场同步脉冲，而图像信号的波形变化不大，这主要是由行与行之间的相关性造成的（如同在一幅幅连续的电影胶片中，相邻几张的内容几乎没有什么明显变化，这就是帧相关性）。在 0MHz~6MHz 的视频图像信号中，存在着以行频为间隔的主谱线以及分布在它们两侧以场频为间隔的副谱线。谱线是指在频率范围中，用一条条竖线代表不同的频率成份，有一种频率即有一条谱线，这样表示比较直观。在图 12-19 中表示出了亮度信号中某一局部的频谱。由图可以看出，在一簇簇的谱线中，主谱线是行频 f_H 的整倍数。把其中一簇谱线放大，如图 12-19(b)所示，在以 nf_H（n 是 1，2，3，4……，在这里指行频的某一整倍数）为中

心，左右均为间隔 50Hz 的副谱线，且幅度逐渐降低，形成一簇。在整个视频范围内，存在着许多这样的谱线，也存在着许多谱线之间的间隙，这就为把彩色信号插在这些间隙中间提供了位置和可能。我们可以设想，若能把彩色信号插在这些间隙中间，就可以不用扩大频带宽度来传送彩色信号了，这种方法称为"频谱交错"原理。

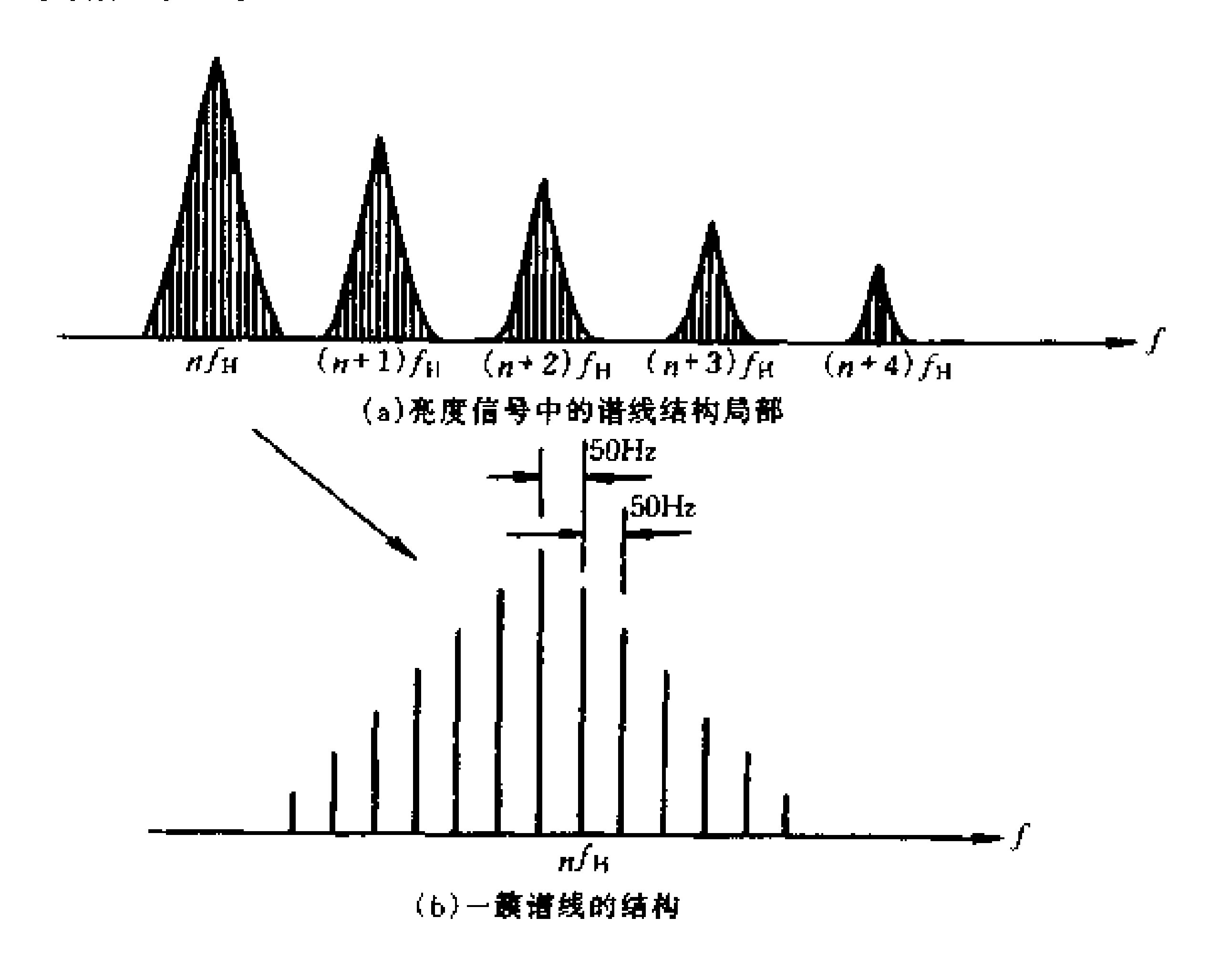


图 12－19　亮度信号中的频谱

把彩色信号插在亮度信号的频谱间隙中，是有一定条件的。首先彩色信号的频带不能太宽，否则就会安插不下。前面我们介绍过"大面积着色原理"，就是在图像中大面积部分涂满彩色而在细微处仍用黑白表示，仍可以得到满意的彩色效果，这样即可把彩色信号的频带压缩到 0MHz～1.3MHz，使频谱交错得以

实现。

4. 正交平衡调幅

为使黑白电视机能正常地接收彩色电视信号，就要保留代表明暗强度的亮度信号，另外再传递相应的彩色信号，并把彩色信号安插在亮度信号的"间隙"之中。实际上，彩色信号的频谱也是从零开始，既使不传送代表细节的高频部分，彩色信号最高频率也有1.3MHz左右。把这样一个0MHz～1.3MHz的彩色信号直接安插在0MHz～6MHz的亮度信号中显然是不可能的，它们的谱线重叠会造成严重干扰。唯一的办法是进行"频率搬移"，也就是将彩色信号的谱线转移到亮度信号的间隙处，再进行安插就可以避免互相干扰了。

根据前面介绍的亮度公式及色差信号可知，要传送三基色信号，可以传送一个亮度信号及B－Y、R－Y两个色差信号。怎样才能把二个色差信号进行频率搬移，同时又不会互相干扰地安插在亮度信号中，就是彩色电视要解决的问题。

在本书第五章曾经谈到，采用调幅的方法可以把处于低频段的信号"搬移"到调幅载波的两侧。根据同样道理，色差信号也可以参照这种方法进行"搬移"。一般正常调幅的方法，除了上下两个边带的已调波信号外，载波成份也占了很大部分，它具有很大的能量，这个载波若落在亮度信号频带之内，会对亮度信号产生很大的干扰，为此人们采用了抑制载波的平衡调幅方法。因为所选定的载波携带的是彩色信息，同时为了与携带整个视频信号向外发射的高频载波相区别，我们称它为"色副载波"。

为了说明抑制载波的平衡调幅与一般调幅之间的区别，我们将一个低频正弦信号调制在较高频率的正弦波载波上，用两种调幅过程加以比较进行说明。图12－20(a)为一般调幅过程，

(b)为平衡调幅过程。

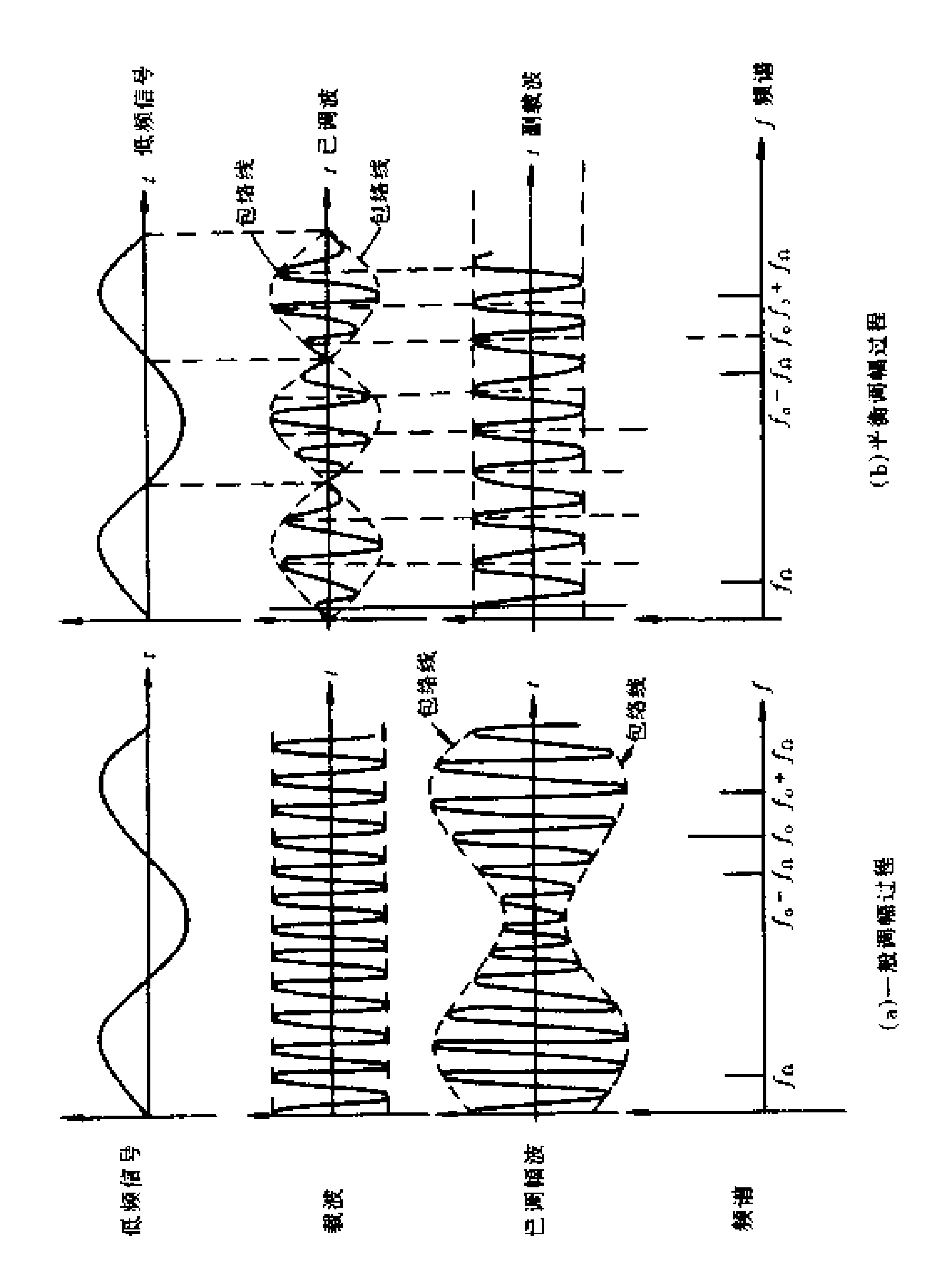


图 12－20　平衡调幅与一般调幅的波形与频谱比较

比较两种调幅过程及频谱，不难得出平衡调幅具有以下几个特点：

(1) 已调波波形与一般调幅波波形不同，当低频调制信号在正半周时，调幅波正半周的包络线为原载波信号；调幅波的负半周包络与正半周相位相反。当低频调制信号变为负半周时，调幅波的情况与上相反。

(2) 仔细观察图 12－20(b)的已调波波形图，在包络线过零瞬间，对应的已调信号的载波倒相 180°，也就是低频调制信号在正半周时，已调波中载波波形与原载波波形相同；当低频调制信号在负半周时，已调波中的载波与原载波波形反相。

(3) 当低频调制信号过零时，平衡调幅波的波形也过零，此时副载波的能量为零。

(4) 平衡调幅波的检波不能采用一般二极管检波，而要采用乘法器(同步检波器)，在检波时需要原载波的参与。

对色差信号进行频率搬移，解决了频谱交错的问题，接下来需要解决的另一个问题是红、蓝两个色差信号同时调制在同一个副载波上，二者不能互相干扰又能便于解调。根据理论分析及具体实验，如果将两个色差信号分别调制两个频率相同、相位相差 90°(称为正交)的副载波，就不会造成互相干扰。两色差的正交关系见图 12－21 所示。由图可见，两个色差信号相差 90°时，当 B－Y 色差达到正最大值，R－Y 恰好过零；而当 R－Y 达到负最大值，B－Y 恰好过零。将两个相差 90°的色差信号合成，就得到了色度信号。这种调制方式称为正交平衡调幅制。

将这两个已调色差信号的关系用矢量图表示更为直观。在矢量图中，用一条有方向的线段表示一个色差信号，线段长短表示色差信号的大小，线段方向表示色差信号的相位，如图 12－22 所示。图中，以 B－Y 色差信号为基准，R－Y 与 B－Y 相差

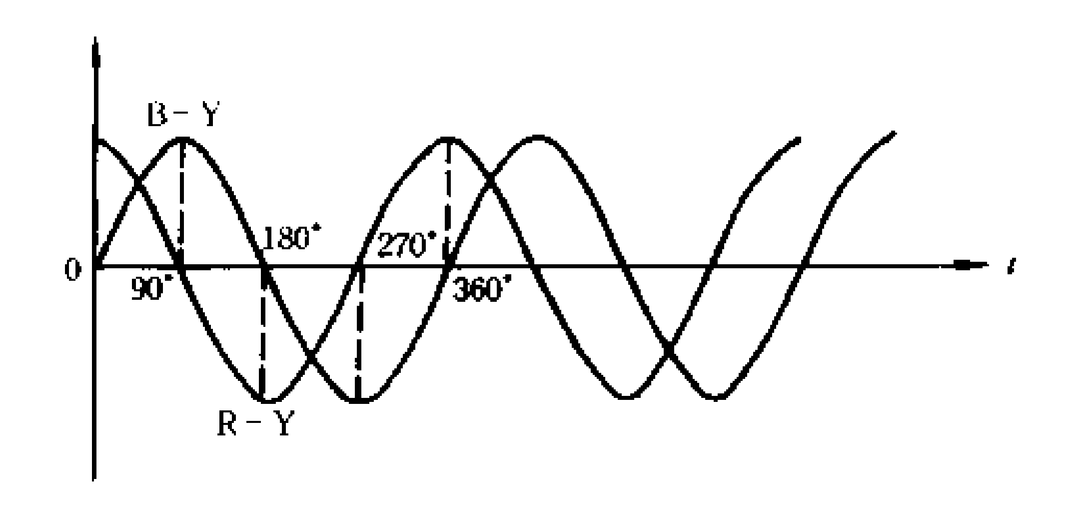


图 12－21　两色差信号的正交关系

90°,二个矢量的合成矢量为 F,即色度信号。在传送彩色信号时,因为彩色图像各点像素的颜色各不相同,所以 B－Y、R－Y 的相位与大小也在随时变化,合成的色度信号 F 也随之变化,F 的大小代表彩色的浓度,F 的方向(与 B－Y 的夹角 θ)则代表色调(颜色)。

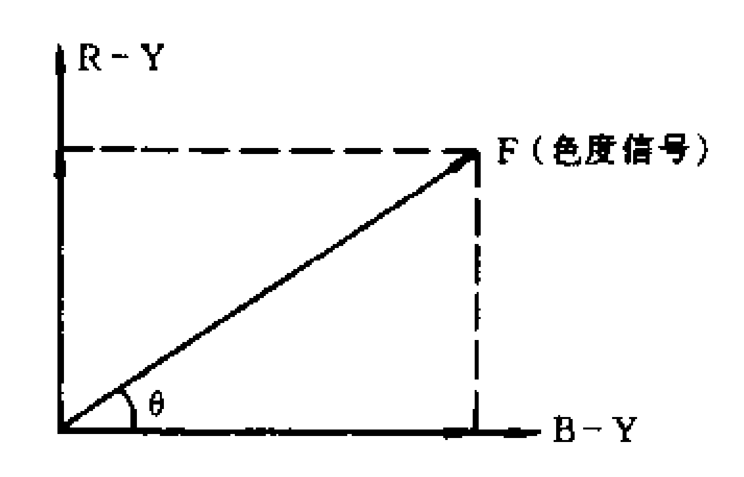


图 12－22　两色差信号正交关系的矢量表示

5. 逐行倒相的正交平衡调幅制

正交平衡调幅制最初是由美国在 1954 年研制并提出的,称为 NTSC 制。这种正交平衡调幅制具有以下特点:

(1) NTSC 制色度信号组成简单,在接收时解码电路也简

单，易于集成化且成本低。

(2) NTSC 制对每一行都以同一方式传送，不像其他彩色制式存在着影响图像质量的行顺序效应。

(3) 容易实现亮度和色度分离，亮度信号串色少。

(4) 色度信号的幅度变化会影响接收时的彩色饱和度。

(5) 色度信号的相位失真对重现彩色时的影响较大。NTSC 制规定微分相位误差在 ±12°之间。实际上当相位误差为 5°时人眼就能感觉到彩色失真，超过 12°时即不能容忍。

从以上介绍可以看出，NTSC 制有许多优点，缺点主要是对相位失真十分敏感。在电视信号发送与接收中，信号相位误差是不可避免的，不采取特殊措施很容易超过 NTSC 制要求的容限，造成彩色失真。

为了克服 NTSC 制对相位失真的敏感性，德国于 1962 年研制了一种 PAL 制，根据色差信号调制在副载波上的特点，又称为"逐行倒相正交平衡调幅制"。

在 PAL 制中逐行倒相的方法可以弥补相位差造成的色彩失真，简单原理如图 12－23 所示。图中，以调制在副载波上的 B－Y 色差信号为基准，作为 U 信号；与 U 信号成正交关系的调制在副载波上的 R－Y 色差信号，称为 V 信号。逐行倒相是指 V 信号在每一行过后倒相一次。一般称不倒相的这一行为 NTSC 行；倒相的那一行称为 PAL 行。在不倒相行合成的色度信号为 F；在倒相行合成的色度信号为－F。由于 V 信号每一行都在进行倒相，所以在传送彩色信号时出现相位误差就可以进行互相抵消。例如，在某一彩色传递中，有一附加的相位误差为 φ，此时处在 NTSC 行，当扫描到下一行为 PAL 行时，此附加的相位误差则被倒相为－φ，当二者合成时正负误差互相抵消，克服了相位误差对色彩的影响。在 PAL 制中，对相位误差的要求可

以放宽到40°的容限，可见PAL制对相位误差并不敏感。虽然PAL制解决了NTSC制对相位失真的敏感问题，但随之而来又产生了一些新的问题需要解决。

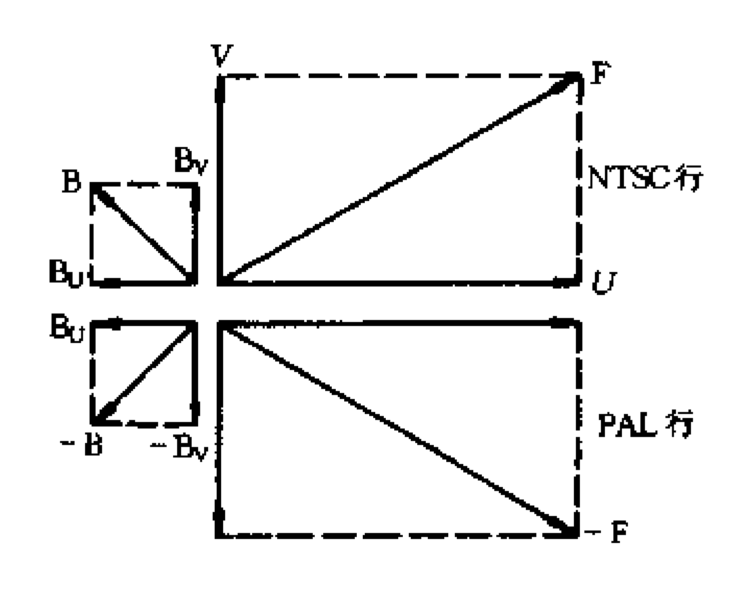


图 12-23 逐行倒相的正交关系

6. 色副载波

色差信号安插在亮度信号中合适的位置，需要选择合适的色副载波，以便调幅的色差信号与亮度信号实现频谱交错。我国彩电制式为PAL制，所以我们重点介绍PAL制。在PAL制中，红色差信号F_V是逐行倒相的，所以每两行时间出现一个重复周期，重复频率为1/2行频。通过对红色差F_V、蓝色差F_U的频谱分析，为了与亮度频谱实现频谱交错，要选择合适的色副载波f_{sc}，为了形象地说明这一问题，绘出了图12-24。

在图12-24中，用点划线表示蓝色差谱线，在色副载波两侧以行频为间隔展开；逐行倒相的红色差谱线在f_{sc}两侧以$f_H/2$为间隔，在二次谐波上则以f_H为间隔向f_{sc}两侧展开；亮度Y的谱线是以f_H为间隔展开。f_{sc}选择在距$n \cdot f_H$为$f_H/4$处，以保证两色差与亮度谱线之间有最大的间距，避免互相干扰，见图12-24(d)所示。图中点划线为蓝色差谱线，虚线为亮度谱线，实

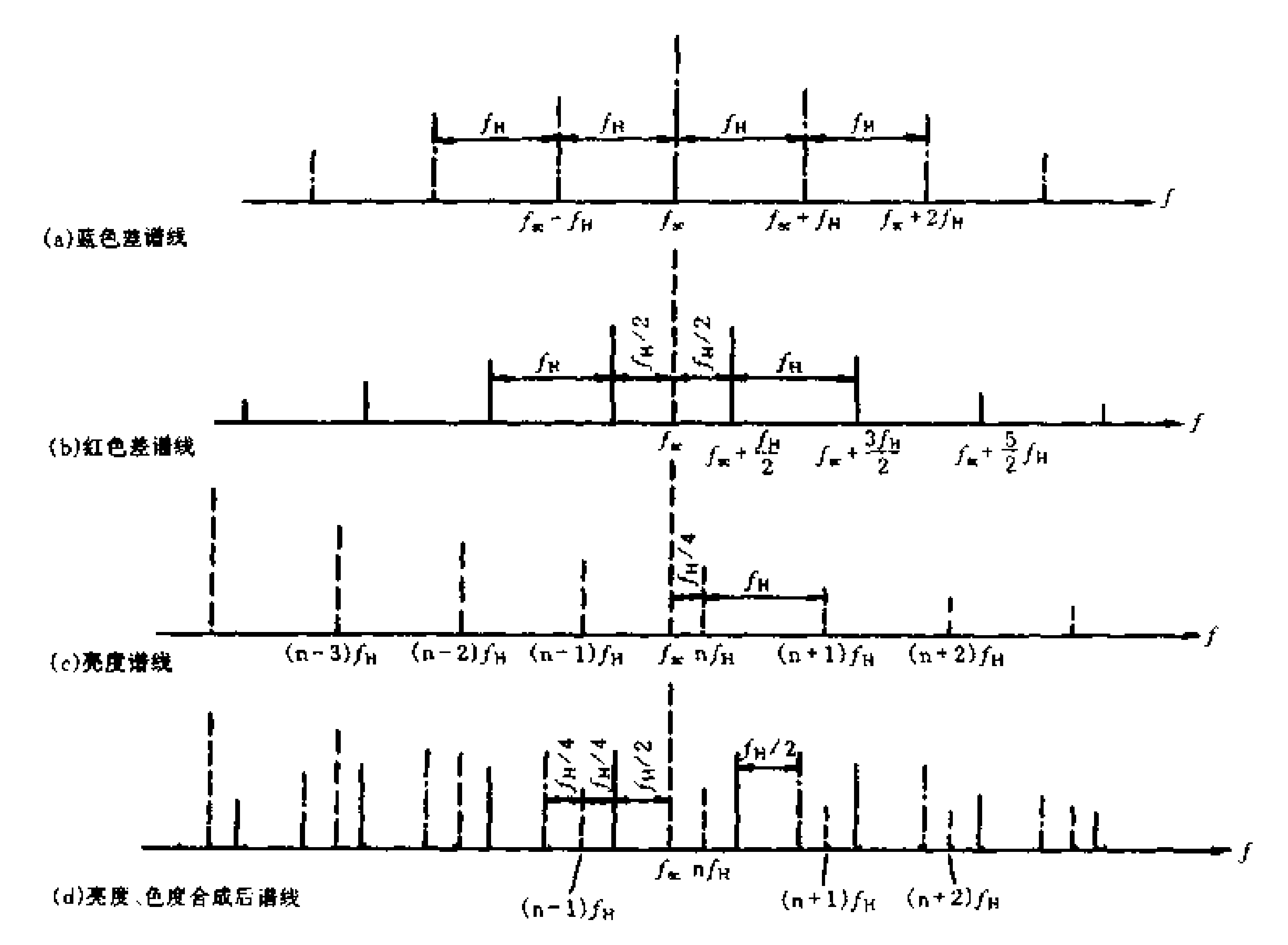


图 12-24 PAL 制亮度、色度的频谱交错

线为红色差谱线，这样合成后，各分量的最小间距为 $f_H/4$。为了使 f_{sc}尽量靠近视频信号的高端，选择 $n = 284$，即 283 3/4 f_H 处。这样选择色副载波后发现它会对亮度造成一定干扰，在屏幕上会出现网纹干扰，为消除这种干扰，把 f_{sc}再增加 25Hz 变成 $f_{sc} = 283\ 3/4\ f_H + 25Hz$，经计算 $f_{sc} = 4.43361875MHz$。习惯上称为 1/4 频谱交错（副载波频率 f_{sc}与亮度信号 Y 的频谱间距 1/4 行频）。

7. 色同步信号

在发送彩色信号时，为防止色副载波 f_{sc}对亮度信号的干扰，采用了抑制载波的平衡调幅，所以在亮度与色度信号中不包含色副载波 f_{sc}的信息。但是，在接收机中进行解调时，因为色差信号采用了平衡调幅，所以解调时只能用乘法器检波（同步解调），而乘法器需要原副载波 f_{sc}才能把色差信号从调幅波中解调出来，这就需要恢复色副载波 f_{sc}。为此，电视台在发送信息时，把色副载波的 10 个周期左右的正弦 波放到了行同步脉冲的后肩上（大约占用了 2.25μs 的时间），作为频率和相位的基准，在接收机中恢复 f_{sc}时，利用这 10 个同期的 f_{sc}正弦波作为色同步信号，使接收机中产生 f_{sc}的晶体振荡器按照色同步信号的频率与相位同步进行振荡，这就得到了与电视台完全同步的 f_{sc}信号。

对于 NTSC 制，色同步信号只有一个作用，就是保证 f_{sc}的准确，因而比较简单。但在 PAL 制中，色同步信号除了完成恢复 f_{sc}的作用外，还要在解调 V 信号时对 f_{sc}起一个 PAL 开关的作用，以便 V 信号在逐行倒相时使 f_{sc}信号也随之一同倒相，这样才能正确地解调出 R－Y 色差信号。PAL 制的色同步矢量图见图 12－23；PAL 制的色同步信号波形如图 12－25 所示。

8. 彩色全电视信号

彩色全电视信号由复合同步、复合消隐、亮度信号（即黑白

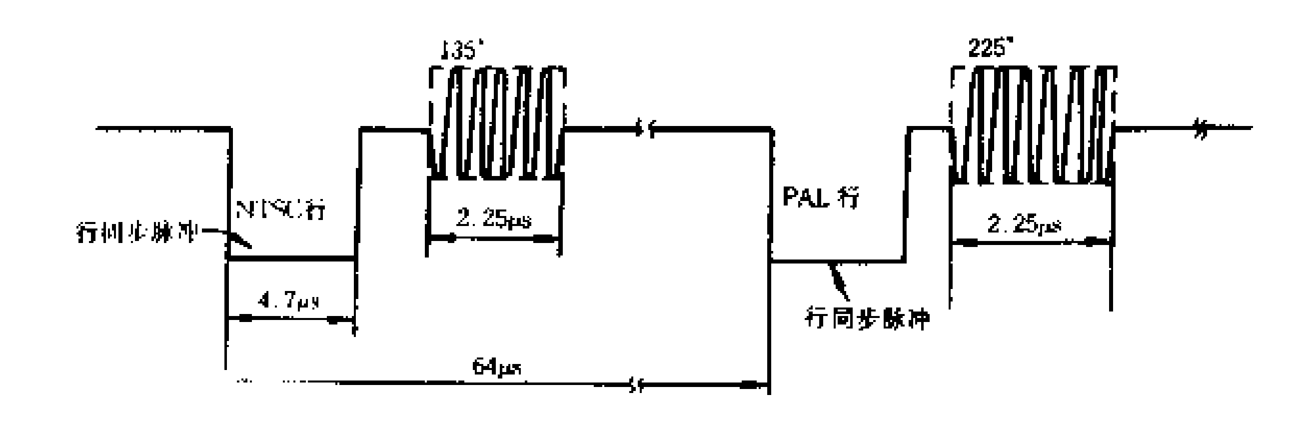


图 12－25　PAL 制色同步波形图

视频信号)、色度信号及色同步信号共同组成。利用摄像机把要摄取的彩色图像分解为红、绿、蓝三个基色信号，然后再用三基色信号合成一个亮度信号及两个色差信号，然后把两个色差信号正交平衡调幅到一个色副载波信号 f_{sc}上，再与亮度 Y 信号混合，这一过程称为编码，由彩色编码器来完成。在接收机中，把彩色全电视信号变为三基色信号去推动彩色显像管显示彩色图像，这一过程称为解码，由解码电路来完成。其他电路则是为完成这一核心任务服务的。

9. 标准彩条信号

彩条信号是彩色电视系统中常用的测试信号，图 12－26 绘出了标准彩条图像及其波形。

图 12－26(a)是彩色电视屏幕上显示的彩条图形，自左向右依次为“白、黄、青、绿、紫、红、蓝、黑”共 8 条彩带。在分析三基色波形及色差波形时，需要参照图 12－1 所示的三基色相加混色图及亮度公式(Y＝0.30R＋0.59G＋0.11B)。

首先看图 12－26(b)中绿色的波形，对照屏幕上的彩色竖条，在白、黄、青、绿四个彩条中，均应含有绿基色成份，所以与这四个彩条对应的波形图上均为高电平；而在紫、红、蓝、黑四个彩

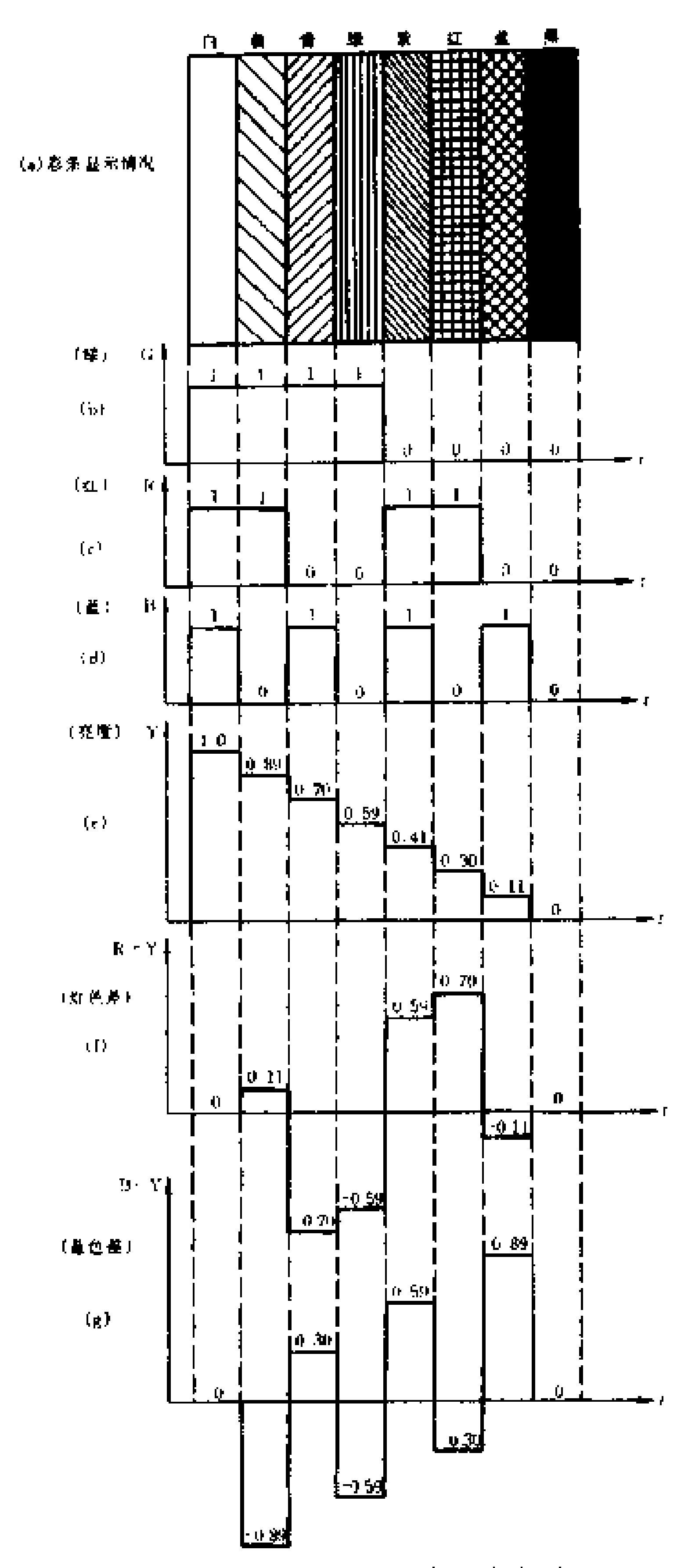


图 12－26　标准彩条信号波形图

条中均不含有绿色，因此在绿色波形图上，它们均为 0。相应地，在红色分量波形图 12 - 26(c)上，对照屏幕上的彩条信号可以看出，白、黄和紫红含有红色成份，所以与此对应为高电平，其余 4 个色条没有红色所以均为 0。再看图 12 - 26(d)的蓝色波形图，在白、青、紫、蓝 4 个色条中，含有蓝的成份为高电平，其余为低电平。再看亮度波形图 12 - 26(e)，因为白色为红、绿、蓝三基色合成所以为最高电平 1.0，黄 = 红 + 绿，所以黄色幅度为：0.30 + 0.59 = 0.89；青 = 绿 + 蓝，所以青色幅度为 0.59 + 0.11 = 0.70；依此类推，紫色幅度为 0.41；黑色为不发光，所以幅值均为 0。有了亮度与基色信号的幅值，绘出色差的波形就比较容易了。首先看红色差 R - Y 的波形如图 12 - 26(f)所示。在白色条对应时间上，红色 R 与亮度 Y 均为高电平 1.0，所以此时 R - Y 为 0；在黄色条中，红色 R 的电平仍为 1.0，但 Y 的电平为 0.89，R - Y = 1.0 - 0.89 = 0.11，在与黄色条对应的 R - Y 波形图上为 0.11；在青色条上，R = 0，Y = 0.70，所以此时 R - Y = -0.70，在 R - Y 波形图上为负值 -0.70。依此类推，可以得到如图 12 - 26(f)的波形；在蓝色差波形图中，与红色差的计算与画法完全一样，只要把蓝基色 B 与亮度 Y 相减即可得到 B - Y 的数值与波形。在图 12 - 26 中，没有画出 G - Y 的波形，读者可根据以上原则自行描绘 。需要注意，G - Y 与其他两个色差相比幅度要小些。

通过以上分析，我们已得到了亮度信号 Y 与两个色差信号 R - Y、B - Y 的电压波形，如何可通过用二个色差信号对色副载波的调制与亮度信号混合是下一步要解决的问题。为了使分析问题简化，我们仍使用上面所用的标准彩条信号，彩色全电视信号的形成如图 12 - 27 所示。

图 12 - 27(b)为色副载波的波形，它是一个频率为 4.43361875MHz 的正弦波，这个频率的选择，可以使调幅后的色

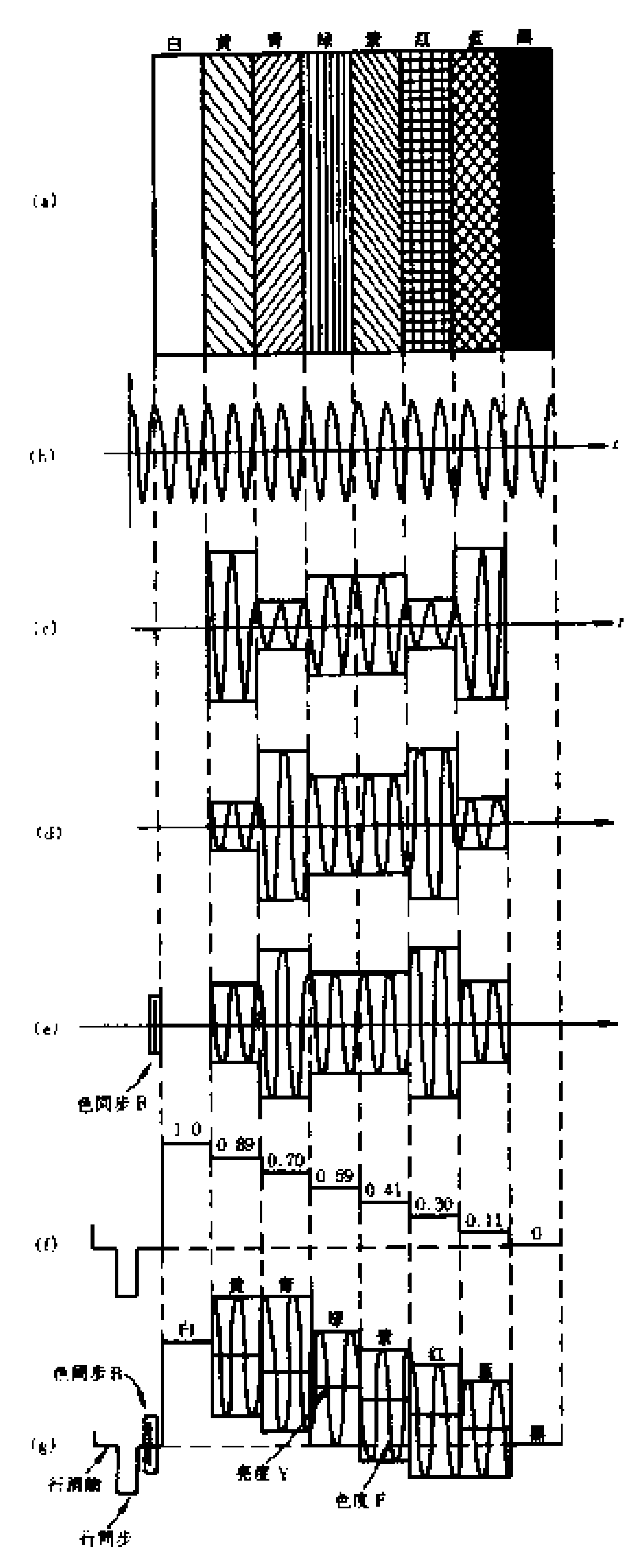


图 12－27 彩色全电视信号的组成

差信号频谱恰好落在亮度频谱的间隙中间；图 12-27(c)是由图 12-26(g)即蓝色差信号调幅后的波形，这是一个正负对称的调幅波，中间的载波为 f_{sc}，而包络线带有 B-Y 蓝色差的成份；图 12-27(d)是红色差 R-Y 的调幅波，它是由图 12-26(f)中的 R-Y 红色差信号调制 f_{sc}而得到的正负对称的调幅波波形。在 PAL 制中，图 12-27(d)中的载波 f_{sc}在进行着逐行倒相，同时图 12-27(c)与图 12-27(d)中的载波二者相差 90°(正交关系)，图 12-27(c)与图 12-27(d)中的调幅波混合后就成为图 12-27(e)的波形，因为二者不是单纯的叠加，而是矢量之和，混合后称为 F 信号。在图中又加入了色同步信号，它带有色副载波 f_{sc}的信息，以供接收机使用。在图 12-27(f)中为亮度信号 Y。色度信号 F 与亮度信号 Y 进一步叠加形成图 12-27(g)中的波形。在这个波形图中，包含了亮度、色度、色同步、行同步、行消隐等信号，形成了完整的彩色全电视信号。

需要说明的是，色度信号是经过幅度压缩以后才与亮度信号相叠加的，从图 12-27(g)中可以看出，既使经过了对色度信号的压缩处理，叠加在亮度信号上的色度信号幅度也还是很大的，假如色度信号不经压缩直接叠加在亮度信号上，向下会超过行同步脉冲的高度，造成行、场同步不能切割，扫描同步不能进行；向上会更大地超过白电平幅度，这样在对载波进行调制时会产生严重的过调制，造成失真。因此，要把色度信号限制在一定的幅度之内。压缩后的两个色差信号称为 U、V 信号，它们和原色差的关系为：

$$V=0.877(R-Y)$$

$$U=0.493(B-Y)$$

图 12-27(g)中表示出了压缩后的波形。

10. 轮行调频制

SECAM制又称为“轮行调频制”，最初由法国工程师亨利·弗朗斯于1956年提出，直到1966年才逐渐完善，形成现在的SECAM制式。这种彩色电视制式的基本作法是：在传输亮度信号的同时，在一行的时间内只传送一个色差信号；待到下一行时，传送亮度信号时同时再传送另一个色差信号。因为每一行只传送一种色差，所以不会产生由于二个色差互相干扰而影响色彩的真实而造成彩色失真。接收机中要真实地再现原来的彩色图像，必须具有亮度信号，同时还要有B－Y、R－Y二个色差信号，但是SECAM制每行只发送亮度和一个色差信号，所以必须储存一行色差信号，以便与亮度和另一个色差信号共同解调出三基色。这表明一个色差信号每行要用二次，也就是传送本行时用一次，储存下来到下一行与另一色差共同解调再使用一次。

在SECAM制中，色差信号对副载波采用了调频的方法。调频制在传送过程中相位失真对彩色再现影响很小，所以这种制式的彩色重现效果很好。SECAM制中存在的问题主要是一种色差信号要使用二次，因此彩色信息量下降一半，彩色清晰度也随之下降一半，而且SECAM制的电路比NTSC制及PAL制复杂。

11. 射频电视信号

通过前面的介绍我们已经知道，黑白电视的视频信号是从直流开始（也就是最低频率为零），最高频率为6MHz，所以视频带宽为6MHz，见图12－28(a)所示。图中，最高信号电平为1，当幅度下降到原来的0.707时（即下降3dB处）为视频信号的上限频率6MHz。若对这样一个信号进行普通方式的调幅，调幅后的带宽将增加一倍，变为12MHz，如图12－28(b)所示，在高频载

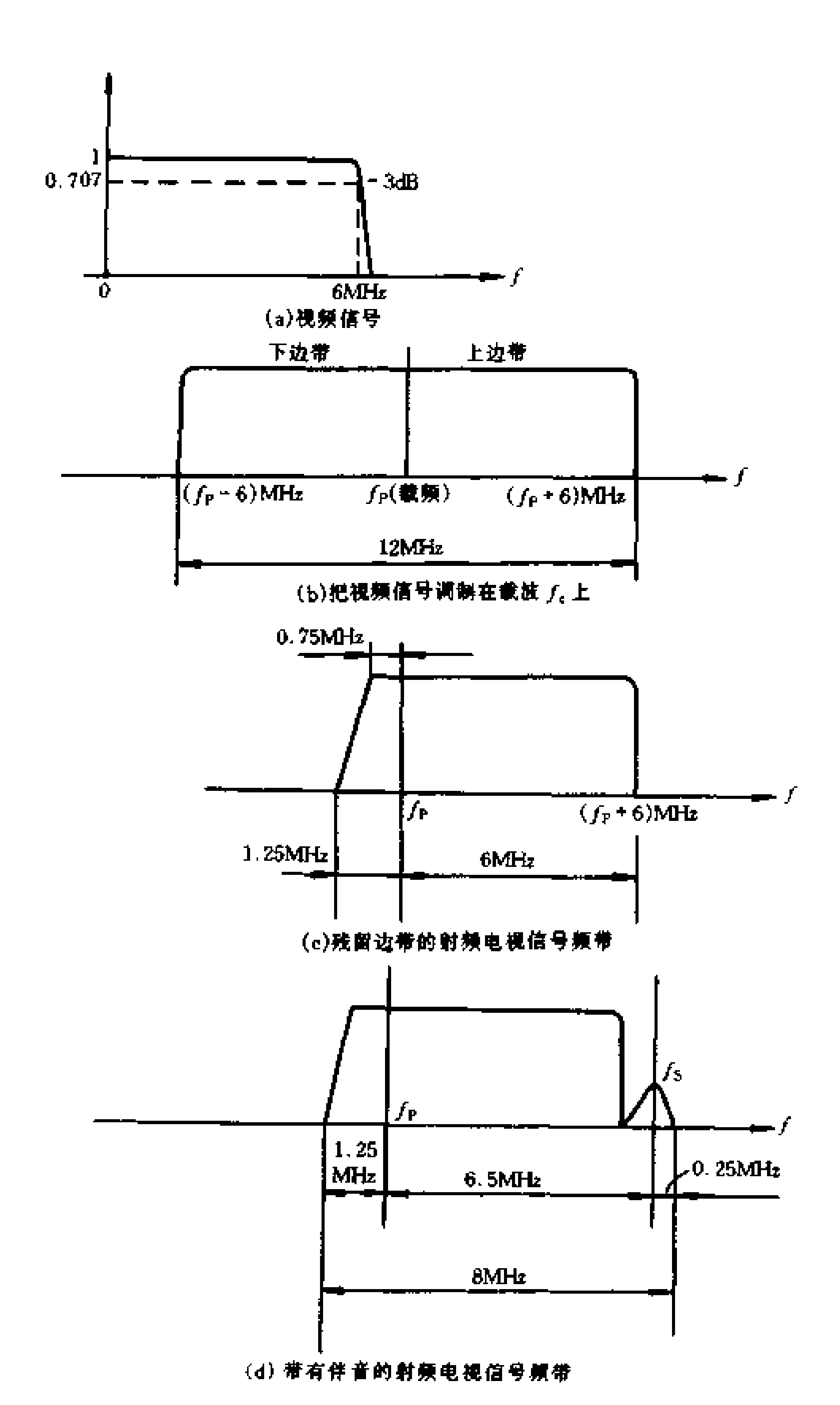


图 12－28　视频信号的调制

波 f_P 的两侧出现了上边带与下边带两个边带，这两个边带携带的信息完全相同，所以可以去掉一个边带只发射一个边带，一般保留上边带去掉下边带。这样在相同的电视广播波段内就能容纳更多的电视节目。

在载波电话系统中经常采用单边带传送方式，但图像信号不宜采用这种方式。因为图像信号中含有频率为零的直流成份，要用滤波器完全滤除载波 f_P 附近的下边带很困难；真正的单边带调幅波在检波时很复杂，而且不能产生第二伴音中频。基于以上考虑，在电视广播中规定图像信号采用残余边带形式的调幅制，如图 12－28(c)所示。在 0.75MHz 以内的图像信号采用双边带传送，0.75MHz 到 6MHz 的图像信号则采用单边带传送。在发射的电视信号中，除了图像信号外，还有调频的伴音信号，伴音信号的中心频率即载波频率 f_s，f_s 比图像载波频率 f_P 要高 6.5MHz，如图 12－28(d)所示。伴音调频信号带宽大约为 0.5MHz，因此一个电视节目所占的频带宽度就为 8MHz，假如图像采用双边带调幅方式将要占用 13MHz，可见采用残留边带形式将会大大降低频率的占用。

通过前面的介绍，我们已知道彩色信号是安插在亮度信号之中的，调制在载波上的频率特性见图 12－29 所示。

图中，除了图像载频 f_P 与伴音载频 f_s 之外，还有一个距 f_P 为 4.43MHz 的色副载波 f_{sc}'，而且还包含在 f_{sc}' 两侧带宽为 2.6MHz 的彩色调幅信号。大家已经知道，虽然色度信号插在亮度信号之中，但由于它们之间的频谱交错，不会互相干扰。还需注意，f_{sc} 这条谱线是用虚线表示的，由于采用了抑制载波的平衡调幅，所以 f_{sc} 色副载波没有发送，避免了对亮度信号的干扰。

下面我们以黑白电视信号及它的调幅波波形说明电视信号

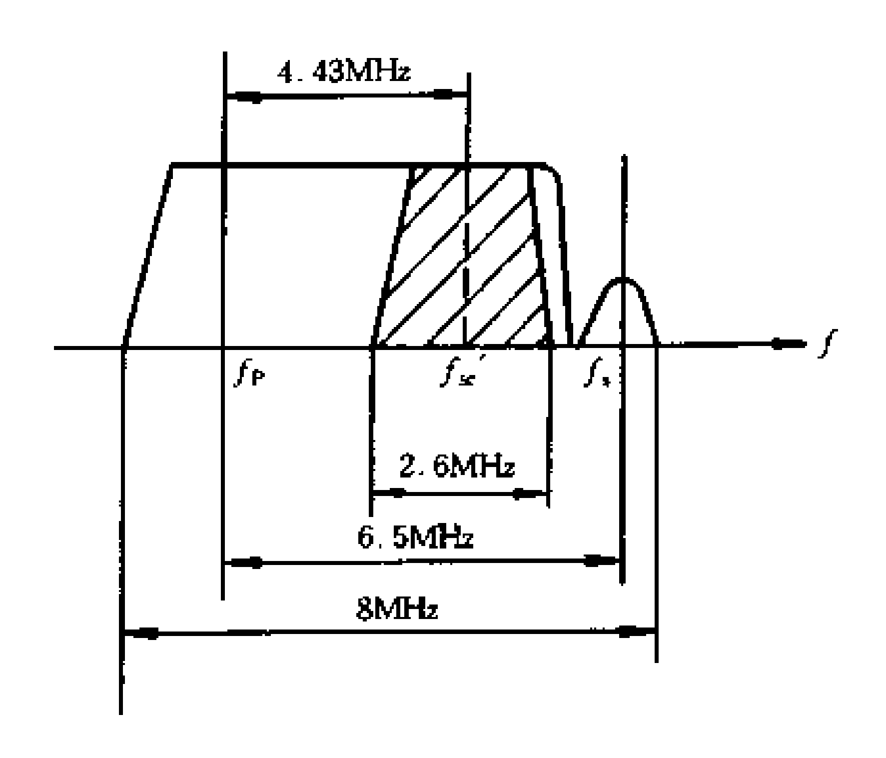


图 12－29 带有彩色信号的射频电视信号

的调幅及它的调制极性，如图 12－30 所示。

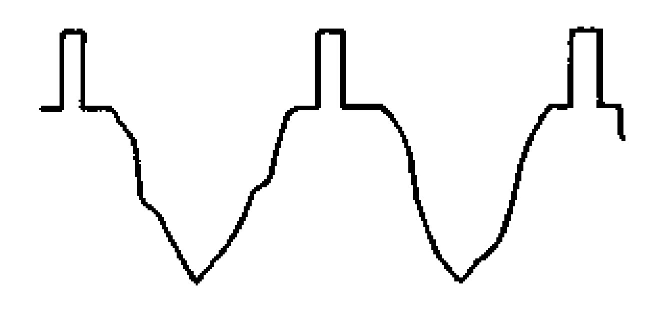
我国及世界上大多数国家均采用负极性视频信号及负极性调制方式，它主要有下列优点：

（1）发射机的效率与功率

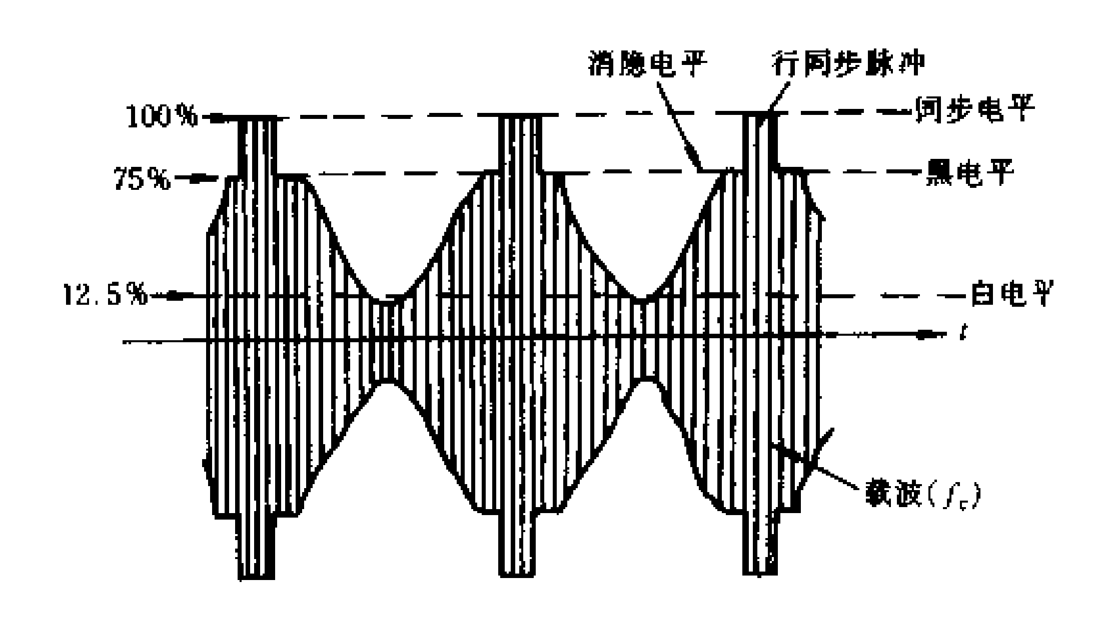
采用负极性调制，已调波同步脉冲的顶部对应着图像发射机输出功率的最大值。一般图像信号中总是亮的多暗的少，所以总处于低功率状态发射，比正极性调制节省发射功率，效率也较高。

（2）干扰

电视信号在传输过程中不可避免地会受到各种干扰，干扰脉冲是叠加在图像信号上的，对正极性调制信号，干扰脉冲在屏幕上表现为一个个的亮点，而负极性调制时，干扰脉冲在屏幕上表现为一个个暗点。人眼对亮点往往比较敏感，因此负极性调制在这方面就显示出它的优越性。



(a)负极性视频图像信号



(b)负极性射频图像信号

图12-30 视频与射频图像信号

第三节 电视信号的接收

电视信号的接收过程可以概括为:由电视发射机发射出调制在载波上的电视信号(包括伴音信号),被接收机接收下来,还原为图像信号与低频伴音信号。在显像管中与发送端同步扫描的电子束,受图像信号的控制,在荧光屏上扫描出发送的图像。同时,伴音电路解调出伴音信号送到扬声器中发出声音。

目前,黑白或彩色电视机大多采用灵敏度高、选择性好、性能优越的超外差式接收方式,而且大都采用单通道方式,即图像与伴音在同一公用通道内放大,直到视频检波后再分开,电路简单,稳定性也较好。

一、黑白电视接收机的组成

图 12-31 是超外差式半通道黑白电视接收机的原理框图。整机由信号通道、扫描电路及电源电路三大部分组成。

天线接收到的全电视信号进入高频调谐器,由输入调谐回路选出所需要的某一频道的电视信号,经过高频放大,与本振输出的正弦波进行混频,在混频级得到中频电视信号,由中频放大器放大送到视频检波器进行检波,得到视频图像信号。在视频检波器中,伴音中频与图像中频进行二次混频,得到第二伴音中频信号。视频信号经视频放大器放大到几十伏后送到显像管的阴极(或栅极)去控制电子束的扫描;第二伴音中频信号经放大、限幅、鉴频得到音频信号,再送到低频放大器放大后推动扬声器放音。为了使视频检波的输出电压稳定,中频放大器设有自动增益控制(AGC)电路,在高频调谐器中,高放级还设有延迟 AGC 电路。

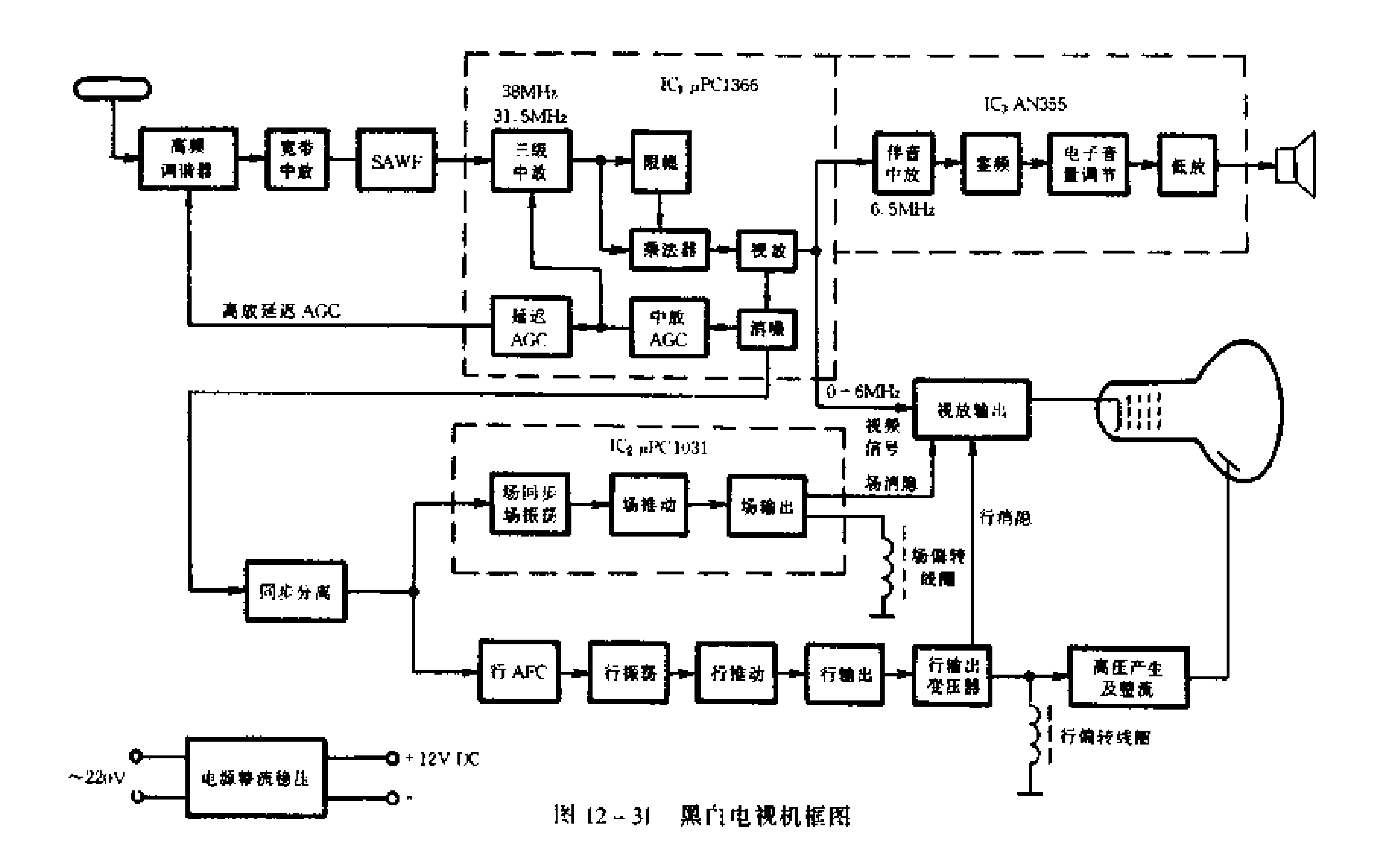


图 12-31 黑白电视机框图

视频图像信号经过消噪电路，把干扰杂波滤除，然后送到同步分离电路，利用电平切割方法把复合同步信号从视频信号中分离出来，然后再进一步把复合同步信号分为行同步信号与场同步信号。行同步信号对行振荡进行自动频率相位控制(AFPC)，场同步信号对场振荡进行同步，行、场输出分别加到行、场偏转线圈，以实现显像管电子束与电视台的同步扫描。同时利用行逆程脉冲在行输出变压器中进行升压整流，以得到显像管所需要的高压与中压。

二、彩色电视接收机的组成

彩色电视机是在黑白电视机的基础上发展而来的，所以有许多部分都是相同的。不同的是彩色电视机增加了彩色解码部分，同时，显像管及其附属电路与通道部分也和黑白电视机有所不同。

1. 彩色电视机的结构

为了便于读者了解彩色电视机的结构，图 12－32 绘出了彩色电视机的原理框图。彩色电视机大体可以分为三大部分：第一部分为信号通道，它包括高频调谐器、中频放大器、视频检波、视放及伴音通道，这部分电路与黑白电视机电路基本相同，只是彩色电视对技术指标要求更高。第二部分是彩色解码电路，它的功能是把彩色全电视信号中的色差信号通过与亮度信号的变换得到三基色信号，以便送到彩色显像管显示彩色图像。第三部分为彩色显像管及其附属电路。

2. 信号的处理

从图像检波中得到的彩色全电视信号，经带通放大器(中心频率 4.43MHz，带宽 2.6MHz)就可以选出色度信号 F，F 信号中有 R－Y 与 B－Y 两个色差信号的调幅波，还需把色度信号 F 送

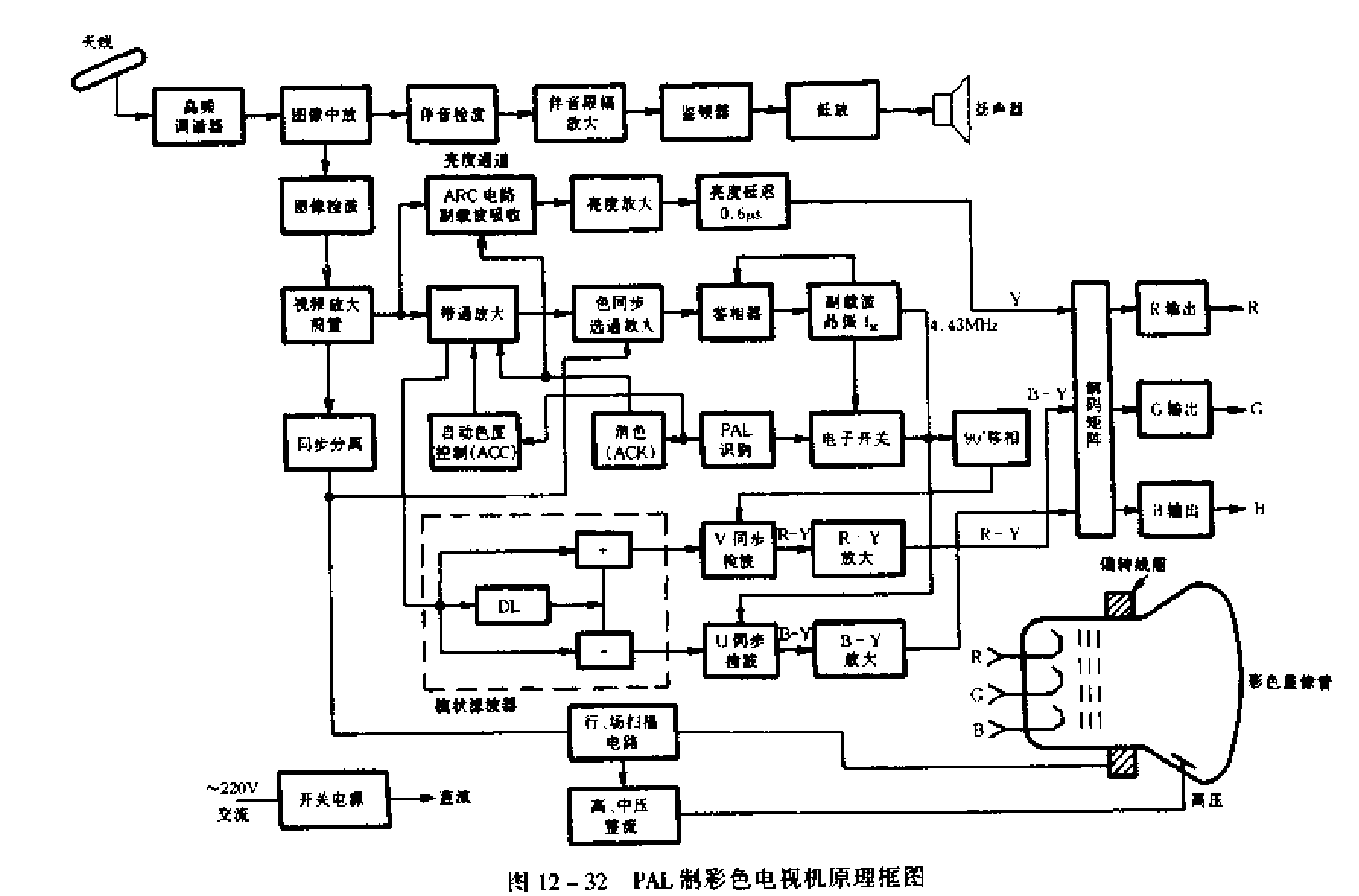


图 12-32　PAL 制彩色电视机原理框图

入由延时线 DL、加法器、减法器组成的梳状滤波器，分离出 U 与 V 信号，然后再把 U、V 信号送到同步检波器中，分别得到色差信号 B－Y、与 R－Y。同步检波器由接收机的晶体振荡器产生，它的频率与相位由色同步信号锁定。在 U 同步检波器中，f_{sc}信号直接加入，在 V 同步检波器中，色幅载波 f_{sc}与发端应该同步地进行逐行倒相，再由电子开关识别出 PAL 行。图中的 ACC 电路是自动色度控制电路，它的作用是控制色度放大器的增益，使色度放大器的输出稳定，以保持图像的彩色深浅稳定。为了在接收黑白电视信号或接收较弱的彩色电视信号时图像显示比较稳定，需要把色度通道关闭，相应的电路称为自动消色电路（ACK 电路）。是否为黑白电视信号或较弱的彩色信号都要依靠检测色同步信号的电压幅度来判断，决定是否关闭色度通道。

彩色全电视信号还有一路送入亮度通道。为了防止色度信号对亮度信号的干扰，先使彩色全电视信号通过对副载波 f_{sc}（4.43MHz）的吸收网络，然后再行放大。如果是黑白信号或较弱的彩色信号，自动清晰度电路 ARC 电路即行启动，断开 f_{sc}的吸收网络，以使清晰度加强。经过亮度放大以后还要通过 0.6μs 的延时电路，使带宽 6MHz 的亮度信号有一个合适的延时，以便与带宽较窄的色度放大器中较慢的色度信号同时到达同一画面，保证图像的套色准确。

把经过延时 0.6μs 的亮度信号与解调出来的 B－Y、R－Y 色差信号一同送入由电阻及视放管组成的解码矩阵中，获得 R、G、B 三种基色信号，经三基色放大器放大后送到彩色显像管的三个阴极 R、G、B 上，激励显像管产生彩色图像。此外，为了不失真地传送视频信号中的直流成份，在图像检波后采用了直接耦合放大电路，或者在后级加入直流恢复电路。

彩色显像管的附属电路还包括枕形校正、白平衡调整、色纯度调整及消磁电路等。

3. 彩色电视机与黑白电视机的差别

通过对彩色电视机结构框图的介绍，对照黑白电视机的结构框图，我们可以发现二者主要有以下区别：

(1) 显像管不同。彩色显像管有红、绿、蓝三个阴极发射三条电子束，在荧光屏上有三种荧光粉颗粒，同时还是荫罩板结构。相比之下黑白显像管要简单得多。

(2) 彩色电视机中有彩色解码电路，以便在彩色全电视信号中取出三基色信号，重显彩色图像。

(3) 因为色副载波 f_{sc} 为 4.43MHz，射频彩色电视信号经接收机混频器混频后，图像中频为 38MHz，伴音中频为 31.5MHz，色副载波中频为 33.57MHz。在视频检波器中会产生以下混频：

38MHz－31.5MHz＝6.5MHz　第二伴音中频

33.57MHz－31.5MHz＝2.07MHz　差频信号

这个 2.07MHz 的信号在 0MHz～6MHz 的亮度信号范围内，肯定会造成干扰，为此，彩色电视机的视频检波器不能像黑白电视机那样，把彩色全电视信号全部送入检波器，而是采用亮度、色度与伴音分别检波的办法，即单独设立伴音检波器，在亮度与色度检波之前先把 31.5MHz 的伴音中频吸收掉，然后再把亮度、色度信号送入视频检波器。

(4) 由于彩色全电视信号中含有色度信号，且色度信号处于频带高端，因此电视接收机公共通道部分的带宽要保证 0MHz～6MHz 的视频信号通过，防止对色度信号的衰减。为了使本振更加稳定，使用了 AFT（自动频率微调电路），同时对高频调谐器、中频放大器的幅频特性提出了比黑白电视机更高的要求。

三、信号通道

电视接收机中的信号通道是指高频调谐器、中频放大器、视频检波器、伴音通道以及彩色电视机中的亮度通道、色度通道等。

1. 高频调谐器

高频调谐器俗称"高频头",早期的电视机把高频头做在一个小铁盒子里,上面装有选台的旋钮及微调旋钮。这种机械式调谐方式,调谐很不方便,也不能进行遥控及节目的存储与预选。

目前电视机的高频头基本上都采用电子调谐方式,即缩小了体积,使用起来也十分方便,很容易实现遥控、存储、预选及自动搜索等功能。

(1) 高频头的几种接收方式

因为高频头都设计成超外差接收方式,所以在高频头电路中,要完成高放、混频和本机振荡等功能,从高频头输出的信号就变成了38MHz的图像中频信号及31.5MHz的伴音中频信号。

高频头电路结构的一般形式如图12-33所示。

在高频头的输入回路、高频放大及本机振荡电路中,频道选择开关选择不同的LC调谐回路,就可以选择所需要的电视台信号进行放大和处理,几组LC调谐回路的选择是同步进行的,以便混频级把所有接收下来的电视台节目信号都变为统一的图像中频(38MHz)及伴音中频(31.5MHz)后,再送到中频放大器进行放大。

因为电视节目频道很多,频率范围也很宽,用LC调谐回路不能有效地进行频率覆盖,因此把接收频段分为VHF(甚高频)和UHF(特高频),在VHF中,又分为L(1~5频道)和H(6~12

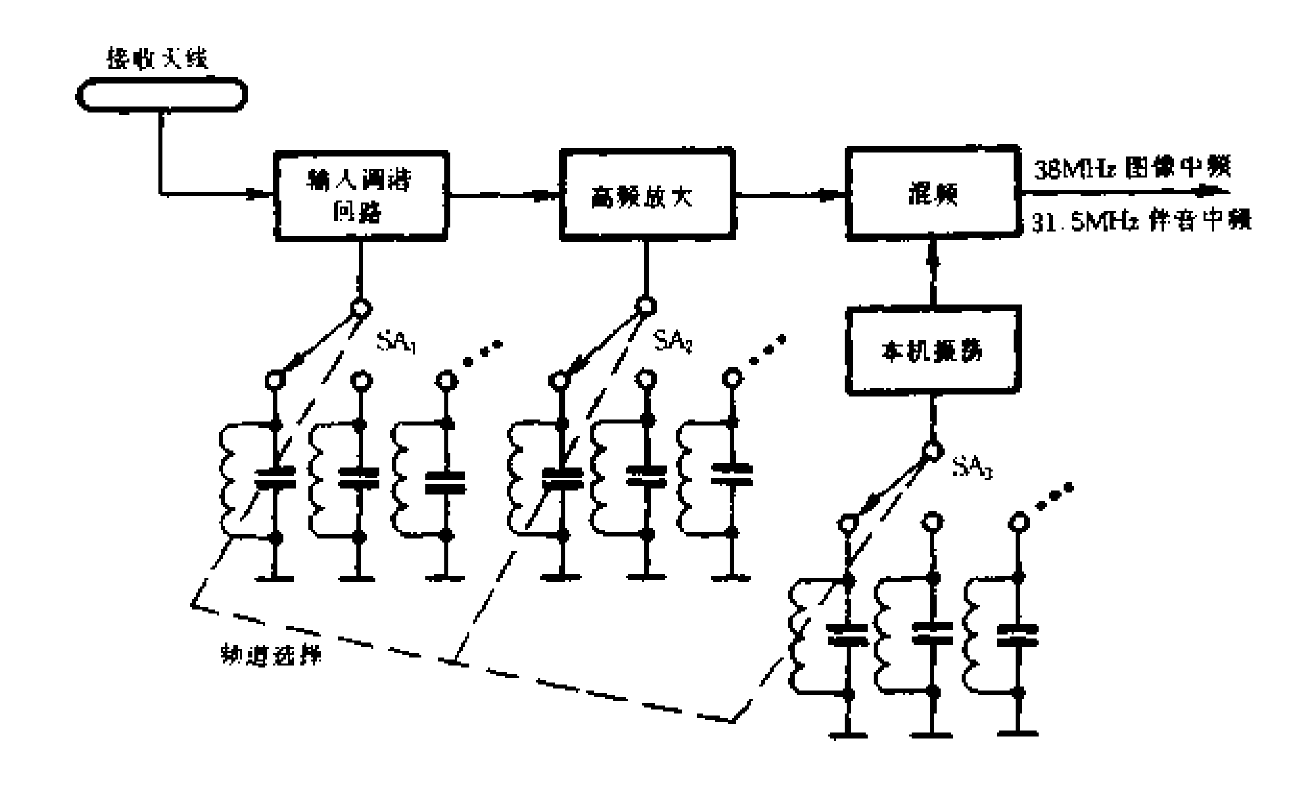


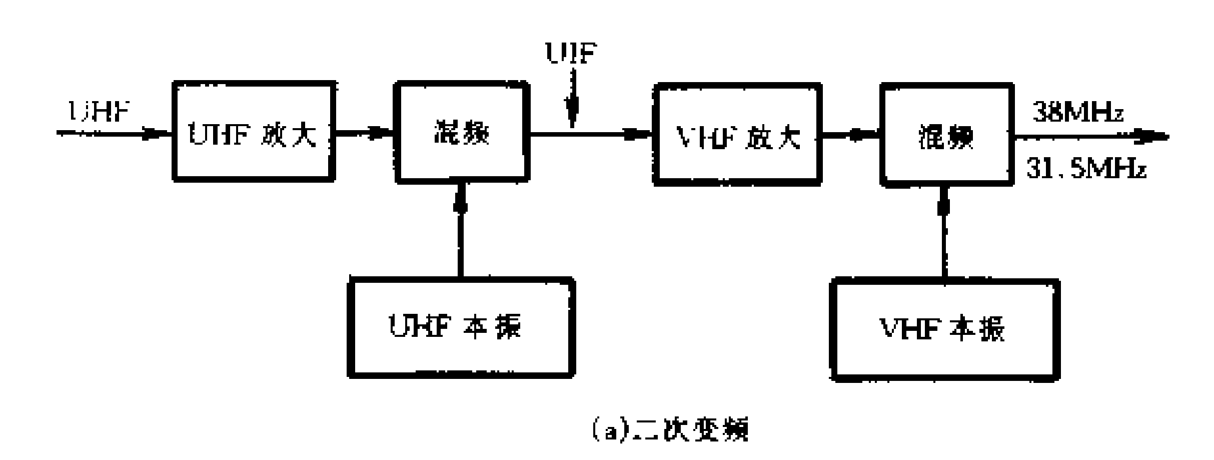
图 12-33　高频头的一般结构

频道);在 UHF 中分为 13~56 频道。V_L、V_H 和 U 频段一般采用开关二极管进行转换。在调谐电路中,则普遍采用变容二极管进行接收信号的调谐。

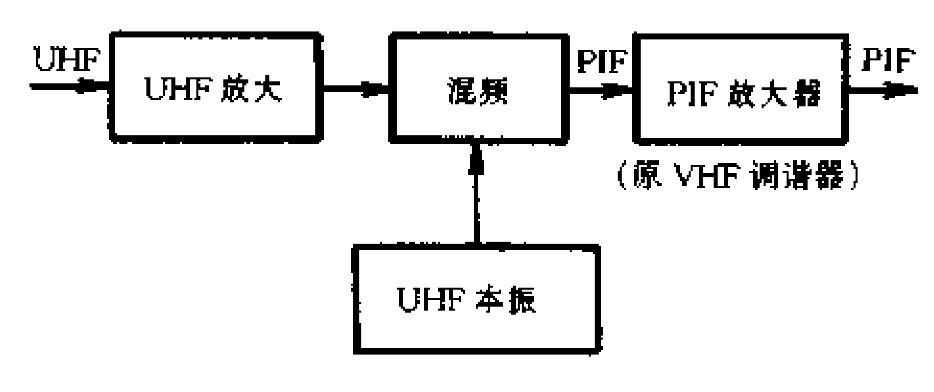
在高频头的结构中,分为 VHF 调谐器(又称 V 头)和 UHF 调谐器(又称 U 头),目前有些电视机把 V 头与 U 头装在一个铁盒子里成为一个全频道高频头。在接收 UHF 特高频电视信号时,因为频率较高,放大器的增益不容易做得较高,因此要利用 VHF 高频头作为 UHF 高频头的后续放大器,共有两种方案,如图 12-34 所示。

在图 12-34(a)的第一方案中,UHF(即 13~56 频道信号)进入 UHF 高频头进行高放,然后与 UHF 本振信号在混频器中混频,混频后的信号变为 VHF(甚高频 1~12 频道)中的某一个空频道(没有电视节目),再进入 VHF 高频头进行 VHF 的高放和混频,得到 38MHz 的图像中频与 31.5MHz 的伴音中频。另一方案

见图 12－34(b)，UHF 信号进入 UHF 高放进行放大，然后和 UHF 本振信号在混频器中混频，直接得到 38MHz 的图像中频与 31.5MHz 的伴音中频，并把这些中频信号送到 VHF 高频头中放大，使 VHF 的高放与混频级充当中频放大器(此时 VHF 的本机振荡器停振)。不论哪种方案，都能使 UHF 高频头输出的中频信号达到接收机的要求。



(a)二次变频



(b)VHF 调谐器作中放

图 12－34 UHF 高频头的两种方案

(2) 对高频头接收性能的要求

为了使电视机在各个频道均能稳定地接收电视信号，应保证天线、馈线、输入回路之间的阻抗匹配；高频头的通频带要合适，既不要过宽(选择性变差)，也不能过窄(带宽不够)；各个频道的增益要足够大而且均衡；本机振荡的频率稳定度要高；输出

的中频信号准确，具有较好的抗干扰能力及良好的选择性。

(3) 自动频率微调 AFT 电路

在彩色电视机中，为了防止本机振荡频率漂移造成图像无彩色或伴音质量下降，采用了 AFT 自动频率微调电路。它的方框图如图 12－35 所示。

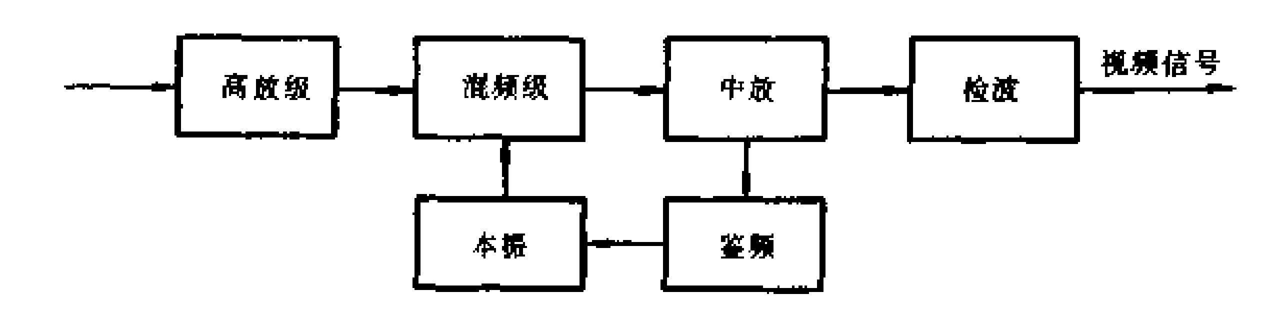


图 12－35　AFT 电路原理框图

AFT 的工作原理是：末级中放的中频信号送到调整在 38MHz 的鉴频器中，当本振频率准确时，末级中放输出的中频信号也是标准的 38MHz。由于某种原因使本振频率漂移时，末级中放输出的中频信号就会偏离 38MHz，此时鉴频器的输出中有直流成分，把此直流成份返回到具有压控特性的本机振荡电路，将本振漂移的频率重新拉回到正确频率上来，本振频率恢复正常后，鉴频器输出为零。实际上这是一个动态调节过程，本振的频率偏差时时都在发生，鉴频器随时都有相应的直流产生，本振频率的自动微调时刻也没有停止。要注意的是，在选择电视节目调整预选旋钮时，应先把 AFT 开关打在“OFF”处，以便调节，调好后再把 AFT 开关打在“ON”处。

2. 中频放大器

高频头接收的电视节目信号，经过高放、混频处理后，得到 38MHz 的图像中频信号与 31.5MHz 的伴音中频信号。因为一般采用单通道接收方式，所以图像、伴音中频在一个放大器中共同

进行放大，为防止伴音与图像的相互干扰，在中放电路中还要做一些处理。

由于采用了超外差式接收方式，把频率较高的各频道电视信号经过混频转换为中频信号。所以放大器对较低频率的中频信号进行放大，既保证了增益较高、又不易产生自激、工作比较稳定，灵敏度也较高。为了保证有较高的中放增益，一般中放电路由 3～4 级放大器组成。为了弥补声表面滤波器的损耗，在前级再加一级带宽放大器。

前面已介绍过电视信号是残留边带调幅方式，电视信号调幅后的频率特性如图 12－29 所示。经过高放、混频后得到的中频信号，频率特性曲线与图 12－29 中的曲线调了一个方向，如图 12－36 所示。这是因为在混频时，本振信号比电视载波高出一个中频的结果。若本振频率为 f_L，则

$$f_{PI} = f_L - f_P = 38\text{MHz}$$

$$f_{SI} = f_L - f_S = 31.5\text{MHz}$$

式中，f_p为图像载频，f_s为伴音载频，电视信号发出时 $f_p - f_s = 6.5\text{MHz}$，即图像载频比伴音载频高 6.5MHz，经混频以后，使中频载频的位置产生了颠倒，见图 12－36(a)所示。由图可见，中频信号的频率特性曲线，在 38MHz 附近 ±0.75MHz 处为双边带信号，带有双倍的图像信息，主要是图像中的低频分量，余下部分为单边带信号。在进行中频放大时，若原封不动地全部进行放大，由于视频的低频部分为双倍信息，所以在视频检波后得到的视频信号会产生低频失真，如图 12－36(b)所示，这在电视接收中是不允许的。要想得到不失真的视频信号，就必须使中频放大器的幅频特性曲线如图 12－36(c)一样，使右侧曲线中心恰好落在 38MHz 频率点上，下侧阴影部分将上侧阴影部分补齐，经视频检波后就得到了图 12－36(d)所示的无失真的频率特性。

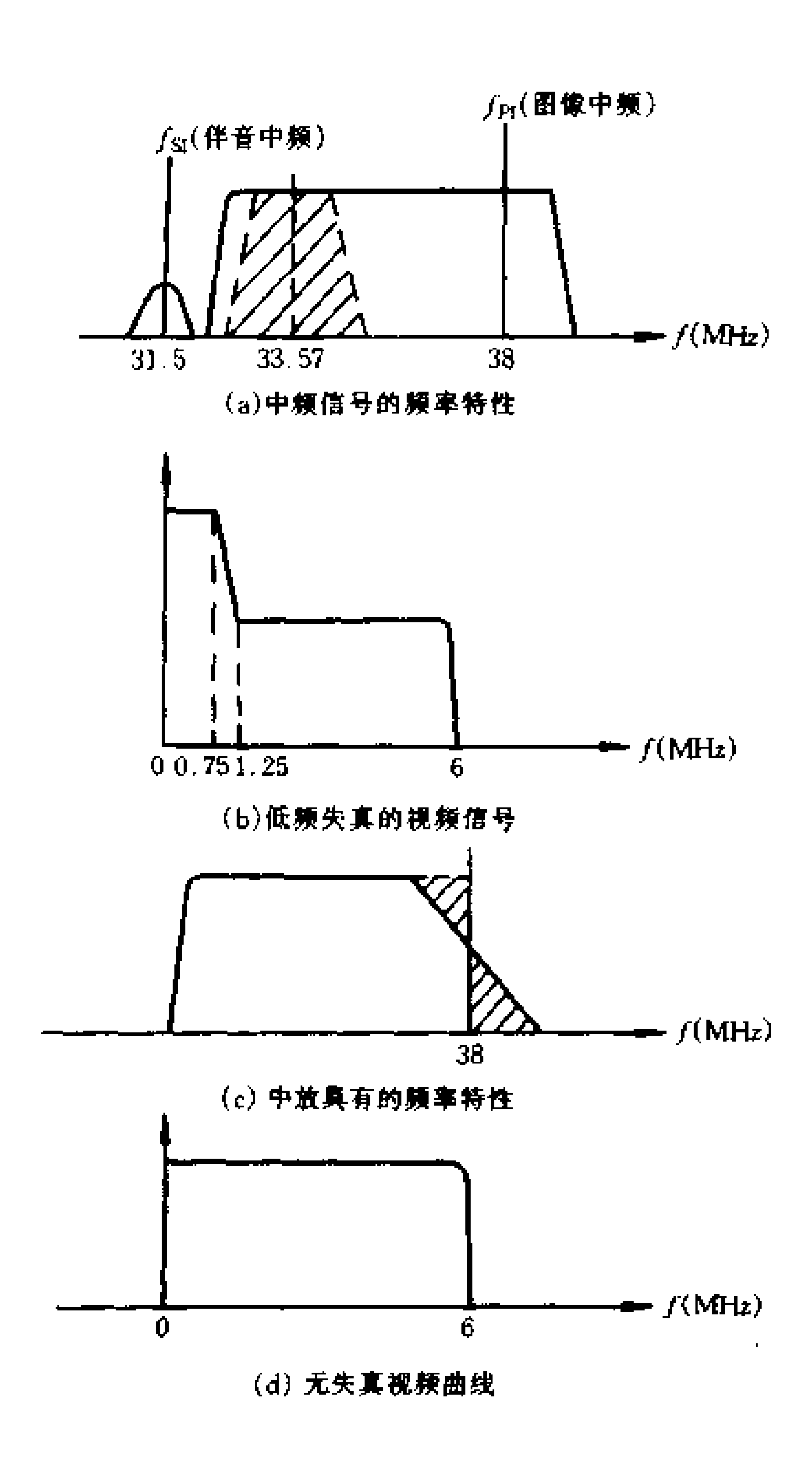


图 12-36 中频信号特性与中放曲线

通过以上分析，说明中频信号的特殊性对中放的幅频特性曲线有特殊要求。图 12-37 是电视机中常用的中放幅频特性

曲线。

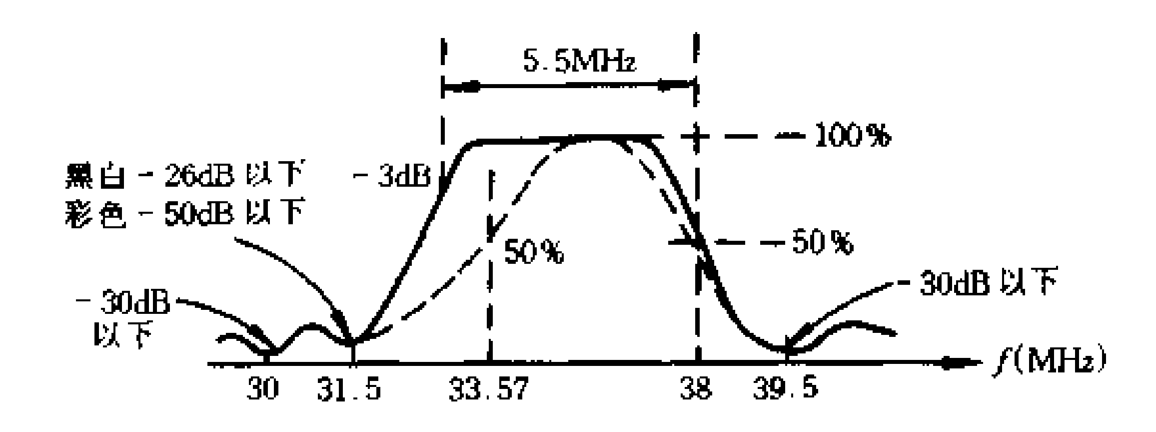


图 12-37 常用电视中放幅频特性曲线

在图 12-37 中,曲线右侧中点为图像中频点 38MHz,实线为平顶形曲线;虚线为圆顶形曲线。曲线两侧有三个凹坑为吸收点,其中对 30MHz、39.5MHz 吸收到 -30dB 以下,对 31.5MHz(即伴音中频)吸收到 -26dB 以下(对黑白机)或 -50dB 以下(对彩色机)。其中对 30MHz 及 31.5MHz 的吸收是为防止邻近频道的图像或伴音信号的干扰而设置的(见图 12-38)。

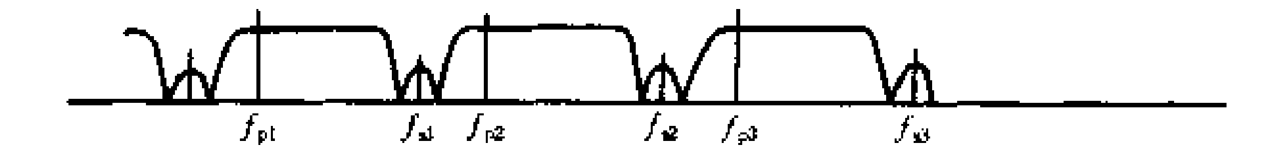


图 12-38 邻近频道干扰

假如正在接收中间 f_{p2}、f_{s2}频道的节目,由于高频头的选择性不能严格地控制在 8MHz 带宽以内,因此邻近高频道的 f_{p3}及邻近低频道的 f_{s1}均可能进入混频器参加混频,得到两个干扰频率即 30MHz 和 39.5MHz。所以在中频放大器的幅频特性曲线中,要对这两个干扰频率给予彻底吸收及滤除。实际上虚线所示的圆顶形曲线具有较好的相频特性,对本振频率的漂移反应也不很敏感。另外,由于通频带偏窄造成的高频分量被减弱,可

在视放电路中获得补偿。实线部分所表示的为平顶形曲线，它的通频带较宽，有利于图像的清晰度，它可以由声表面滤波器实现，但要求本振频率漂移要小，调谐要十分准确。

（1）声表面滤波器（SAWF）

采用分立元件的中频放大器，要想形成图 12－37 形状的幅频特性曲线，需要 3～4 级中放及调谐回路，调谐十分复杂，而且不易调出所需的频率特性曲线。声表面滤波器的出现大大简化了中视频率特性的调节。采用具有特定频率特性的声表面滤波器，再配以集成中放电路，几乎不用调节就能符合特定的中放特性曲线。声表面滤波器是如何一次形成图 12－37 所示的复杂的频率特性曲线呢？这要从它的结构与原理说起。

声表面滤波器简称为 SAWF，它的结构是在压电晶体的基片表面蒸发一层薄金或铝膜，再用感光胶均匀涂复，然后采用光学曝光的方法把电极影像投射到感光胶上，经过定影，把曝光部分的感光胶洗掉，再利用腐蚀的方法把感光胶覆盖的电极保留，把其余部分腐蚀掉，就得到了所需的换能器叉指电极，如图 12－39所示。

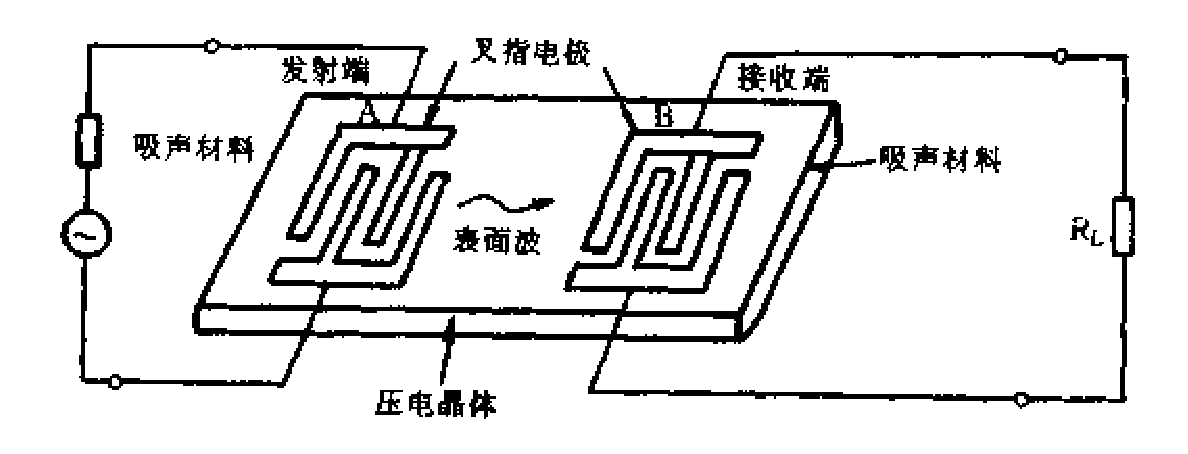


图 12－39　声表面滤波器结构示意图

压电晶体的特性是，当把电压信号加到覆盖在晶体上的换能器时，会在电极附近的晶体表面出现疏密相间的表面波；反

之，在晶体表面的声波，会在电极上产生相应的电压信号。如果是简单地在A端叉指电极上外加信号电压，产生的声表面波在换能器B上又恢复成原来的信号电压，这样的过程是没有任何意义的。实际上，由于换能器叉指电极的尺寸和距离是经过特定设计的，它能使某些频率的信号在B端加强，有些特定的频率在B端得到极大地衰减，经过这样处理后，有些频率就会得到提升，有些频率则被压缩，一次形成所需要的频率特性。

这种声表面波滤波器体积小、重量轻、一致性好、可靠性高、价格低而且不需调整，因此目前电视机都采用它作为中放选频元件。这种滤波器虽然有上述优点，也存在着一些缺点。例如，电压信号加到A端换能器电极上，产生的声表面波不但向B端传播，也会向相反方向传播，会损失掉一半电压信号。插入损耗约为15dB~20dB。因此常在SAWF前面加一级宽频带放大器进行弥补。

SAWF存在的另外一个问题是声表面波A到达B后，还要继续向前传送，直到碰到右侧端点，虽然此处附有吸声材料，但声表面波到达这个界面上还会向相反方向反射，反射波返回发射端界面时又会产生反射，这个反射波传送到B，被B接收，因为二次回波滞后了一段时间，且能量变小，会在电视屏幕上造成重影干扰，多次回波还会造成多重重影。

为克服SAWF的缺点，目前出现了三组换能器的声表面滤波器，它的结构如图12-40所示。发射换能器处于中间位置，它所发射的声表面波向左右两侧传播，两侧各有一组换能器，避免了能量的损失。

为了弥补SAWF的插入损耗，几乎所有电视机中的SAWF前面都加有一级宽带放大器，以补偿SAWF的损耗，见图12-41所示。图中R_1、L_1与高频头的输出相匹配，输出端并接L_3谐振

于中频中心频率 38MHz 上(有些老中频为 37MHz)。

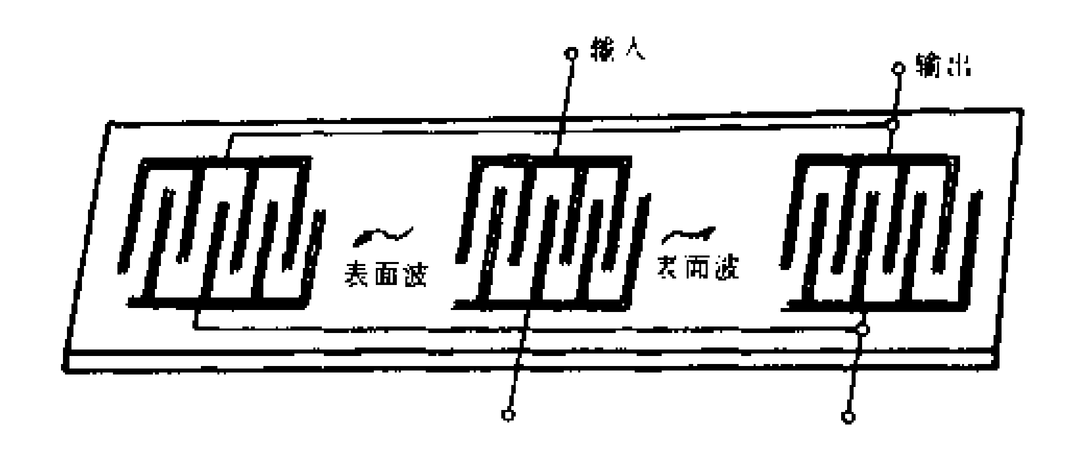


图 12-40 有三个换能器的 SAWF

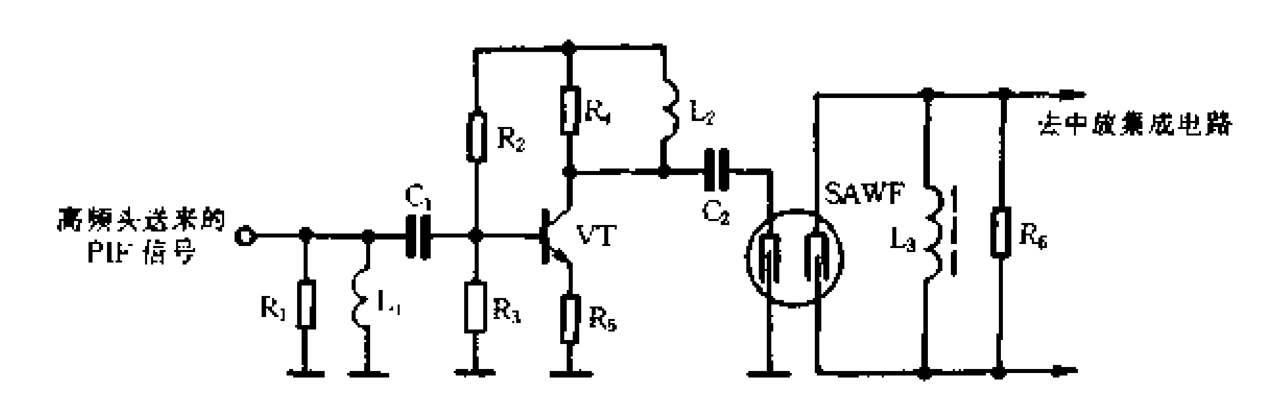


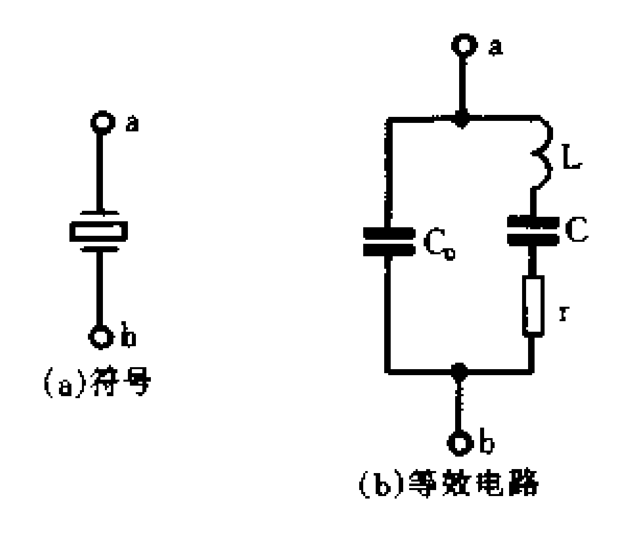
图 12-41 SAWF 的实际应用电路

(2) 陶瓷滤波器(CF)

陶瓷滤波器也是电视接收机中常用的电子元件。可分为带阻、带通两大类型。陶瓷滤波器由压电陶瓷片与电极构成。用途不同,电极数及结构也不相同。由于它具有体积小、成本低、插入损耗小、通频带宽、选择性好、幅频及相频特性好以及性能稳定可靠等优点,所以使用非常广泛。

在图 12-42(a)中画出了它的电路符号,图 12-42(b)是它的等效电路,其阻抗特性曲线见图 12-42(c)。

在具有压电特性的陶瓷片两面装有两个电极,当把高频信号加在这两个电极上时,在高频交变电场的作用下,陶瓷片会随



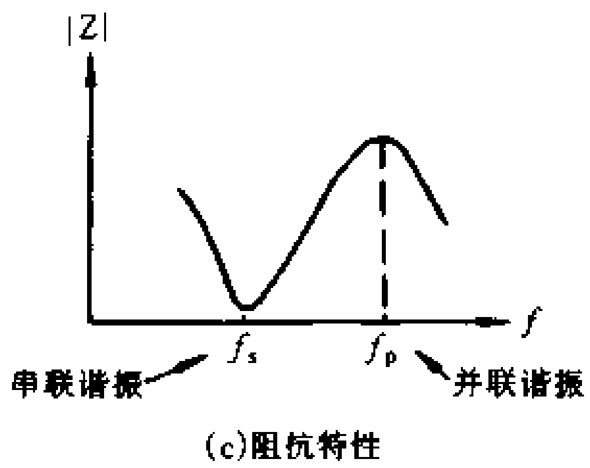


图 12-42　二端陶瓷滤波器

信号频率产生相应的机械振动，若外加信号的频率等于陶瓷片的固有频率（由陶瓷片尺寸决定）时，陶瓷片呈现出相当于一个LC 串联谐振回路的特性，由本书第一章有关内容可知，LC 串联谐振时，它的阻抗很小，接近于 0，陶瓷滤波器的这种性能很类似于 LC 串联陷波器。

在图 12-42(b)的等效电路中，C_0 为两片电极产生的结构性电容，又称为静态电容或装配电容。$C_0 \ll C$，所以电路中除了有 LC 产生的串联谐振外，还有 C_0参与的 LC（包括 C_0）的并联谐振，因为 C_0远远小于 C，所以并联谐振频率 f_P要高于串联谐振频率 f_s。在图 12-42(c)的阻抗特性中，有两个频率点，f_s与 f_P，在

串联谐振频率点 f_s处，阻抗很小，大约等于回路串联等效电阻 r，因为 r 的值很小，所以串联谐振时的阻抗也很小；在并联谐振点 f_p处，由于并联谐振时的 LC 回路阻抗很大，所以在 f_p这一点的阻抗很大。

常用的陶瓷滤波器还有一种三端式的，其等效电路见图 12－43所示。

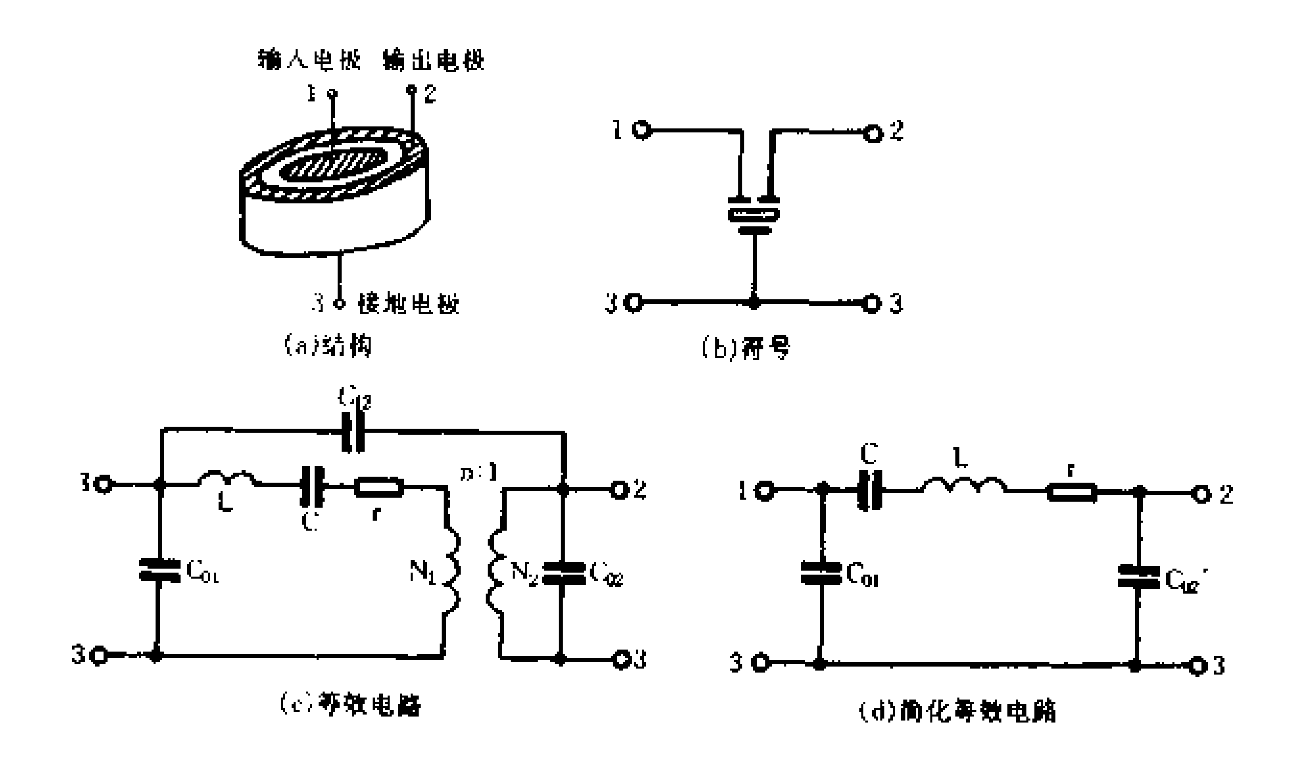


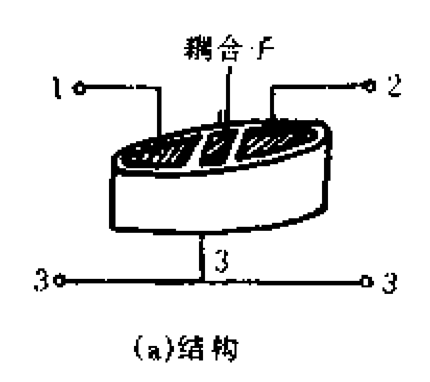
图 12－43 三端式陶瓷滤波器

图 12－43(a)是陶瓷滤波器的结构示意图。图 12－43(b)是它的电路符号，图 12－43(c)为其等效电路。其中 C_{01}、C_{02}为电极板 1、2 对电极板 3 的静态电容，也是结构性电容，C_{12}为电极板 1、2 之间的静态电容，L、C、r 为等效串联谐振回路，N_1与 N_2等效于变压器耦合单调谐回路，其谐振频率由 LC 决定。变压器耦合变比为 $n = N_1/N_2$，取决于电极板 1、2 的面积之比，同时 $n^2 \approx \frac{C_{01}}{C_{02}}$。在图 12－43(c)的基础上可进一步等效为图 12－43(d)，

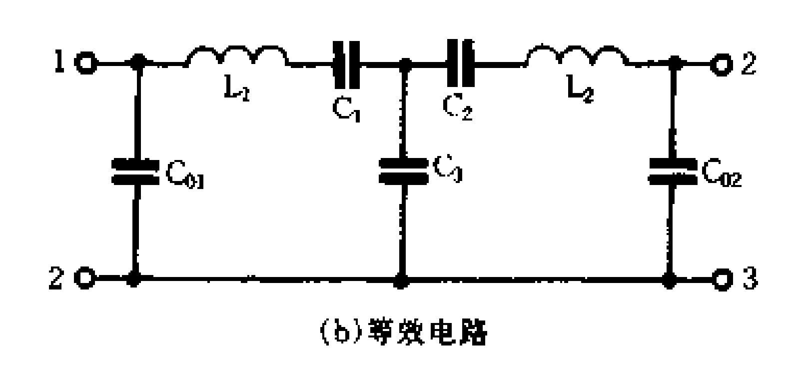
如电容分压式并联谐振。$C'_{o2}=(\frac{1}{n})^2\cdot C_{o2}$。根据 C'_{o2}，可算出并联谐振的频率

$$f_p=\frac{1}{2\pi\sqrt{L\cdot\frac{1}{\frac{1}{C}+\frac{1}{C_{o1}}+\frac{1}{C'_{o2}}}}}$$

还有一种三端陶瓷滤波器，在两个电极之间增加了一个叫作"耦合子"的电极，它与别的电极没有电气连接，但等效电路却是一个双调谐回路，具有较宽的频带以及较好的选择性，如图12－44所示。



(a)结构



(b)等效电路

图12－44 有耦合子的三端陶瓷滤波器

陶瓷滤波器主要用于电视机中的各种吸收回路、选频回路和鉴频器电路中。

(3) 集成中放电路

电视机的中放电路是决定整机增益的关键电路，中放电路

的性能直接影响着整机的性能。这里重点介绍电视机中常用的集成电路 TA7607AP 的性能与工作原理。

TA7607AP 的内部框图及外围电路如图 12－45 所示。从高频调谐器输出的中频信号(包括图像中频与伴音中频信号),先经前置宽带中频放大器(见图 12－41)放大,再送入声表面滤波器,获得所需的频率特性,然后送入中放集成电路 TA7607AP。TA7607AP 由三级差动放大电路组成,级间采用直接耦合,并引入了深度负反馈,用以稳定直流工作点。为了不使负反馈影响中频放大电路的增益,在②、⑮间加入了中频滤波电路,使中频交流信号的放大不受影响。这一中频放大器中没有决定幅频特性的 LC 调谐回路,中频特性完全由 SAWF 来决定,所以无需调节。经三级中频放大后,可以获得 50dB～60dB 的增益,约占整个通道增益的 1/2 以上。

经过中频放大的图像中频与伴音中频信号,进入视频检波器检波后,得到视频信号。在一般的分立元件电路中,视频检波采用二极管检波器,在集成电路中,则使用乘法器(即同步检波器),在乘法器检波中,把中频调幅波与中频载波相乘即可得到原来的调制信号(视频信号)。在 TA7607AP 中,对中频调幅信号进行限幅,即可得到等幅的中频载波信号。从视频检波器中得到了 0MHz～6MHz 的视频信号。同时,由于伴音中频 31.5MHz 的存在,在检波器中还产生了混频作用,即 38MHz 的调幅中频信号与 31.5MHz 的调频信号混频,得到了中心频率为 6.5MHz 的第二伴音调频信号。这两个信号经预视放大并通抑噪的处理后从⑫脚输出,由 6.5MHz 带通滤波器得到 6.5MHz 的第二伴音中频;另一路经过 6.5MHz 的吸收以后,得到彩色全电视信号。这样就把伴音与视频信号分离开了。

抑噪电路输出的视频信号中包含着直流成份,它代表了视

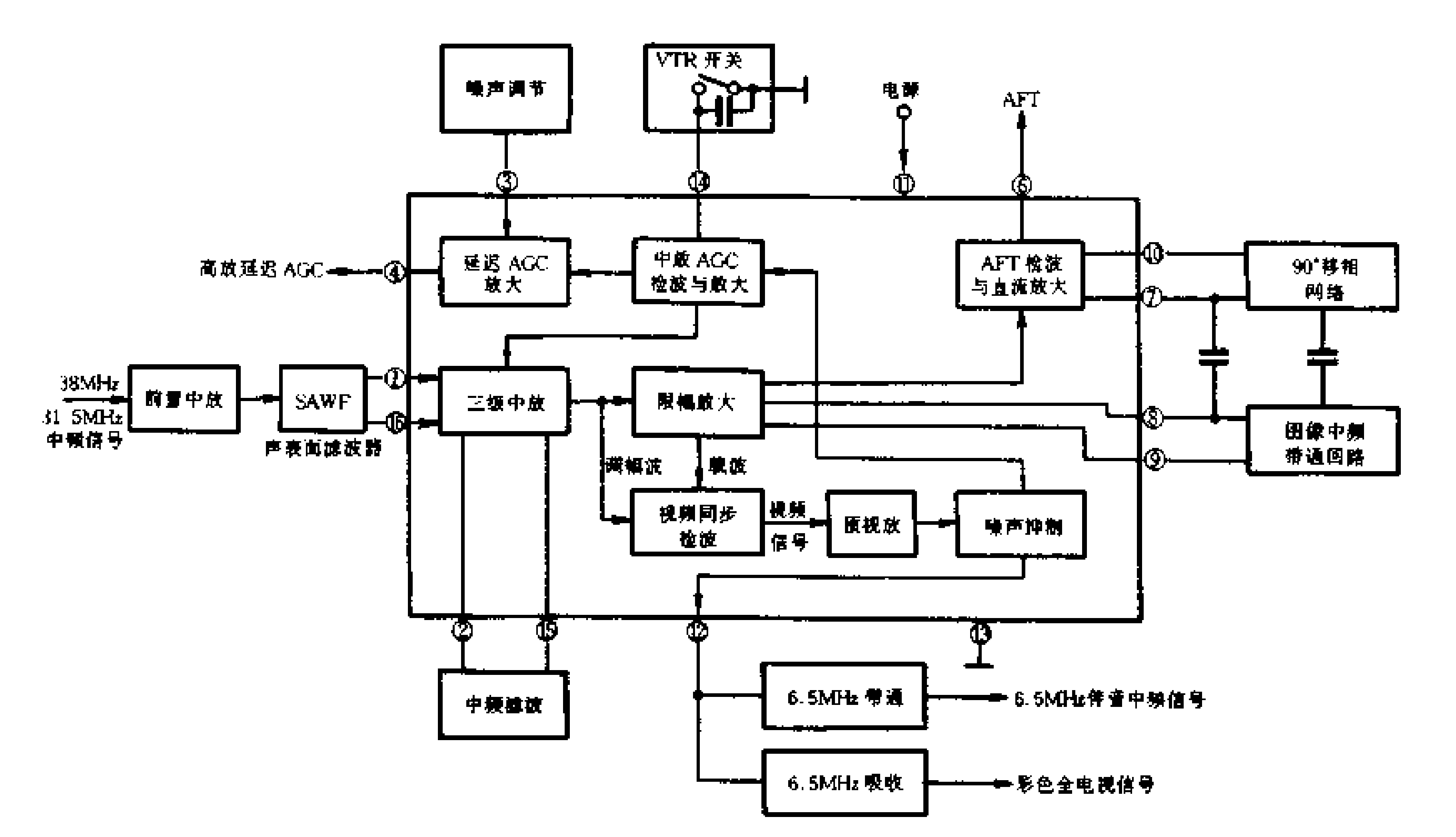


图 12-45　TA7607AP 内部框图与外围电路

频信号幅度大小，把它送入中放 AGC、检波与放大电路中，就得到与信号幅度(指同步脉冲)成正比的直流电压，这个直流电压一路送到三级中放去控制放大器的增益，另一路送到延迟 AGC 电路，经处理后送到高频头中的高放级，以控制高放级的增益。

中放 AGC 电路输入信号的幅度越高，则 AGC 电压降得越低。当⑬脚电压从 11V 降到 6.6V 时，中放增益从最大状态降到 36dB 左右。当⑬脚接地时，AGC 电压为 0，各级中放增益降到最低，等于把中放通道关断。在这种状态下，中放停止工作，便于在视放输入录像信号或激光影碟机信号。避免电视台的信号出入造成干扰。

AFT 电路由 AFT 检波与鉴频电路组成。当本振频率产生偏移时，混频出的中频信号就不是准确的 38MHz，在鉴频电路中，频率偏移的大小由直流电压反映出来，频率偏移越大，直流电压越高。将这个 AFT 电压反馈到本机振荡器中，本机振荡器是压控振荡器，利用外加直流偏差电压控制它的振荡频率回到标准频率上去。这个频率偏差电压 AFT 由第⑥脚输出。

与 TA7607AP 相似的中放集成电路为 TA7611AP，它们的功能完全相同，唯一不同的是，TA7607AP 产生的高放延迟 AGC 电压为反向控制电压。即输入信号越大，AGC 电压越低；而 TA7611AP 电路的 AGC 电压为正向 AGC 控制方式，即输入信号变大到一定幅度以后，AGC 电压就上升，适用于具有正向 AGC 特性的高放管。在选择中放集成电路时要注意它们的这种区别。

(4) 自动增益(AGC)控制电路

在无线电接收机中，自动增益控制电路是必不可少的，这是因为接收的信号有远有近，有强有弱，接收地点的电场强度也各不相同。假如电视机中放大器的增益不能改变，就不能适应千

变万化的接收环境。在收看电视节目时，我们都希望不同频道的节目质量尽量相同，但实际上不同电视台的信号被天线接收下来时，信号强度千差万别，只能借助于自动增益控制电路使中放电路适应这些变化。此外，因为晶体管动态范围较小，如果在末级中放或视频放大器中信号幅度过大，超出了晶体管放大区，就会造成信号被"切顶"或压缩，引起同步不稳定或彩色失真，伴音也会产生"蜂音"，为此，中放增益必须加以控制。

前面介绍的集成中放电路中，三级中放增益约为 60dB，要求中放 AGC 控制范围大约在 40dB；在高频头中的延迟 AGC 控制范围约在 20dB。

AGC 控制电路不但要求有效，而且要求反应速度较快，在温度发生变化时性能稳定。AGC 电压的变化，只会改变中放电路的增益，不能影响中放通频带的带宽及幅频特性。另外，AGC 电压只与同步头的峰值大小有关，而与图像内容无关。因为图像内容有亮有暗，电平大小随时变化，不能具体反映瞬间信号电压幅度的大小，而同步头一直处在信号最高幅度上，它的变化才能反映电视信号电平的变化。

AGC 控制还要选择合适的起控点。为了不影响接收机的灵敏度。当输入信号小于某一规定值时，AGC 电路不能起控，中放电路和高放电路处于最大增益状态。当输入信号增大到一定程度时，中放 AGC 先起控，它可以使中放增益有 40dB 的变化量。假如信号增大到使中放 AGC 控制失控时，由高放延迟 AGC 起控，高放延迟 AGC 大约可以控制 20dB 的范围。让中放先启控，高放后启控，主要是防止信噪比下降。

为了说明 AGC 的工作过程，我们先介绍它的功能框图，如图 12－46 所示。

为了保证电视画面的稳定，要求输入信号无论怎样变化，预

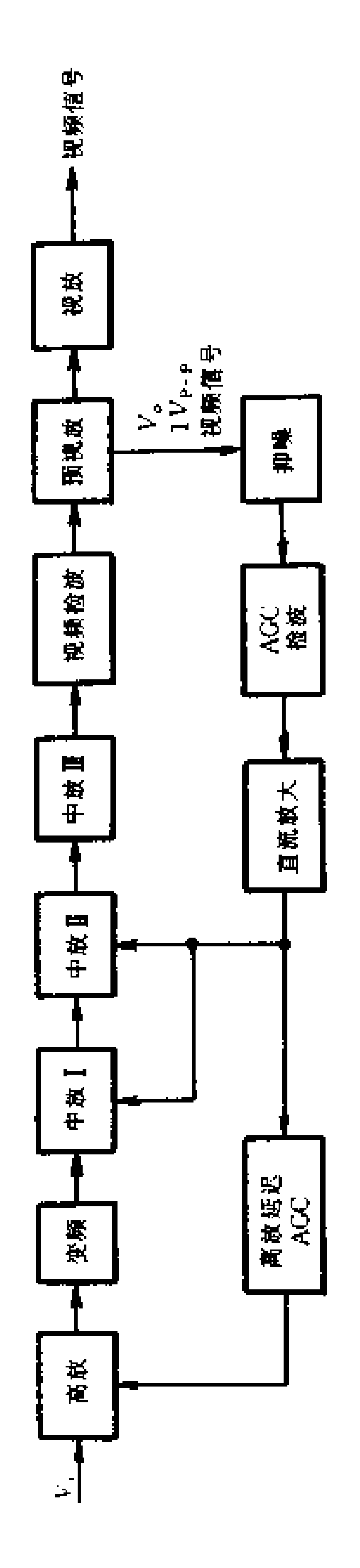


图12-46 AGC控制过程框图

视放输出的视频信号幅度总是保持在1V(峰峰值)。实际上从高放级输入的信号电压幅度差别很大。当输入信号的幅度小于某一数值时,通道放大器处于最大增益状态,此时AGC电路不会起控,输出信号电压幅度随输入信号电压幅度而变化;当输入信号电压幅度上升到某一数值后,中放AGC电路起控,输入信号幅度再增大时,输出信号也不随之变化,仍然保持1V(峰峰值)的幅度;当输入信号幅度继续增大到某一值,达到中放AGC的最大控制极限时,高放AGC起控,以维持输出电压幅度基本不变。若输入信号增大到超出高放AGC的控制范围时,AGC电路就会失去控制作用,输出信号幅度将随输入信号的增大而增大。中放AGC控制范围约在40dB,高放AGC控制范围约在20dB,总共在60dB左右,输入信号变化超出这一范围,AGC电路即行失控。

图12-46是分立元件AGC电路。通常末级中放的输入、输出信号幅度较大,一般不加AGC控制,避免产生失真。

对于中放和高放的受控电路,AGC电压加在放大管的基极,控制放大管增益的增加或减小。普通晶体管只能采用反向AGC控制,也就是输入信号增大时,AGC电路起控,使放大管基极的正偏压减小,以降低增益。这样虽然简单易行,但当输入信号增加很多时,AGC电压将使基极正偏压过量减小,有可能导致晶体管进入截止区,产生严重失真,通常称之为信号"阻塞",所以电视机中常采用正向AGC控制方式。为此,正向AGC控制电路中的放大管要选用具有正向AGC特性的晶体管。这种晶体管的β值是不均匀的,β值会随着集电极电流I_c的增大而减小。这样,当正向AGC起控后,随着输入信号幅度的增加,AGC电压随之升高,致使I_b增加引起I_c增大,I_c的增大使β值减小,增益随之下降,起到自动增益控制作用。采用正向AGC时,

输入信号过大，晶体管也不会进入截止状态，也就不会产生“阻塞”失真。

目前，高频头电路中大多使用双栅极 NMOS 场效应管作高放管。因为它有两个栅极，其中第一个栅极作为信号输入，第二个栅极加入 AGC 控制电压。当第二栅极控制电压上升时，放大能力加强；当第二栅极控制电压下降时，放大能力减弱。显然，对这种场效应管应加反向 AGC 电压，即当输入信号增大到 AGC 起控点时，输入信号再增大，则 AGC 电压加到场效应管第二栅极的电压减小，使放大管的增益下降，达到稳定输出的目的。

AGC 的两种控制方式各有优缺点：正向 AGC 的控制能力强，需要的控制功率大，被控极工作点变化范围大，引起放大器的输出、输入阻抗变化大，这将会对前后级调谐回路的有载 Q 值造成影响，所以受控级一般做成宽带放大器；反向 AGC 所需控制功率小，对前后级的影响小，但当输入信号变化大，增益下降过多时，集电极电流 I_c 变得很小，使放大器工作点接近非线性区，引起非线性失真。

按 AGC 电压取得的方式不同，可分为三种基本形式：平均值式、峰值式和脉冲键控式 AGC 电路。在收音机中，AGC 电压是取自检波器输出的直流分量，也就是声频信号的平均值。在电视机中，检波器输出的直流分量就是全电视信号的平均值，它不仅与信号的强弱有关，而且还取决于图像的内容。这就意味着受控中放电路的增益将随图像内容而变化，直接影响着控制的准确性。所以，目前平均值式 AGC 电路在电视机中很少使用。峰值式 AGC 电路是检出预视放输出的全电视信号的峰值（即同步头电平），作为 AGC 电压。它仅以输入信号的强弱成正比，而与图像内容无关。但是，当有超过同步电平的干扰时，电路会把干扰电平误认为信号电平，迫使放大器压低增益而产生

误控。为此，峰值 AGC 前面都加有消噪电路（抗干扰电路），称之为抗干扰峰值 AGC 电路。另一种 AGC 电路为脉冲键控式 AGC，它的 AGC 电压是从同步脉冲的大小变化中取得（这一点和峰值 AGC 相同），但在取出时必须伴有电视机的行扫逆程脉冲作为选通脉冲，也就是选通脉冲到来时，AGC 电路打开，选择此时的同步信号大小进行峰值检波，得到 AGC 电压，其他时间无选通脉冲，AGC 电路关闭，因此受到干扰的机会大大减小。但是，这就要求行回扫脉冲与同步脉冲必须对齐（只要电视机工作正常，则行回扫脉冲与电视台的行同步脉冲必然是对齐的），问题在于刚开机或换台后的一段时间内，行可能不同步，选通脉冲与行同步脉冲也就不会对齐，造成 AGC 暂时失控，使中放高放增益达到最大值，输出信号过强，视频信号幅度过大，同步切割时切出图像信号，图像失去同步。在电视屏幕上出现图像扭曲，伴音也会发出很大"蜂音"。所以，现代电视机中主要采用抗干扰 AGC 电路。电视机中峰值 AGC 的控制曲线如图 12－47 所示。

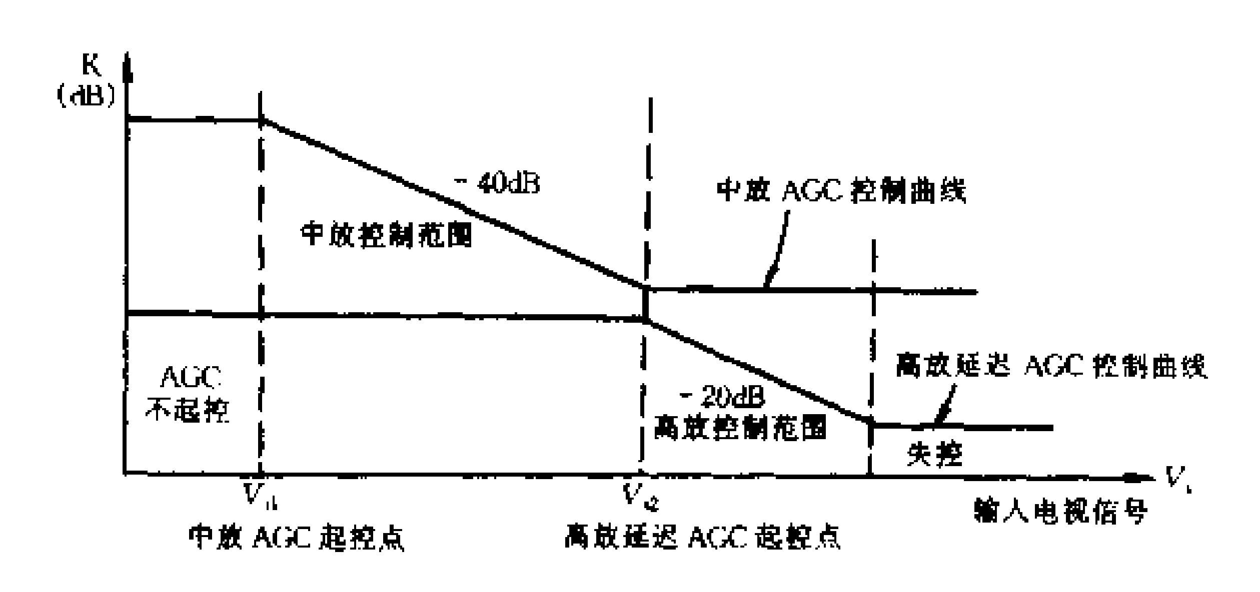


图 12－47　AGC 控制曲线

输入信号小于 V_{i1} 时，AGC 不起控，当输入信号达到 V_{i1} 时，

中放 AGC 起控，随着输入信号的增加，中放增益下降，中放 AGC 控制范围约为 40dB；当输入信号到达 V_{i2}时，中放 AGC 停止作用，高放 AGC 起控，控制范围约 20dB；当输入信号增大到 V_{i3}时，中放、高放 AGC 均处于失控状态。所以，AGC 总的控制范围约为 60dB。

为了说明 AGC 电路的具体控制过程，我们以常用的电视集成中放电路 TA7607AP 内部的 AGC 电路为例，说明 AGC 电路的控制过程，如图 12－48 所示。

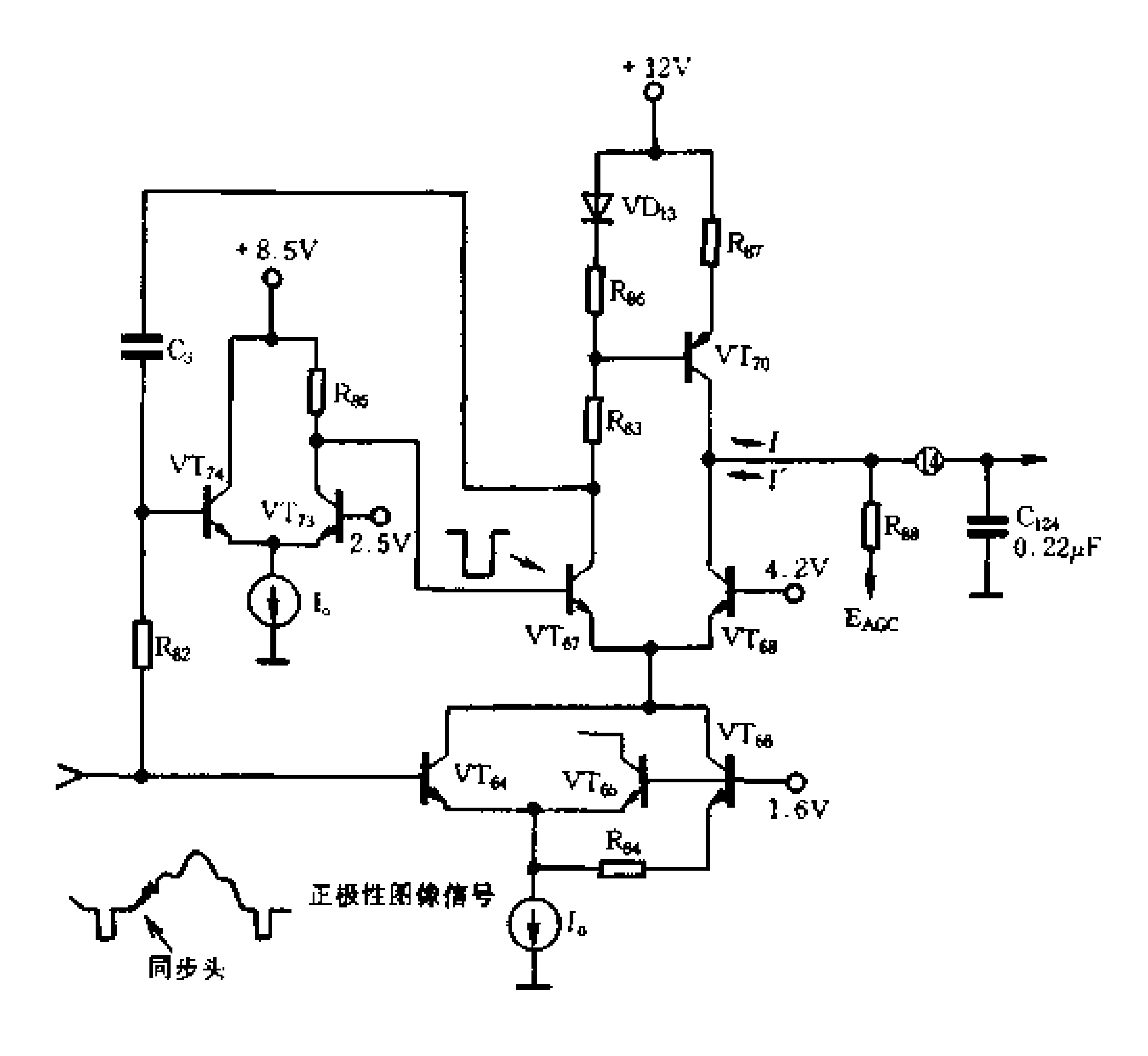


图 12－48　TA7607AP 中的 AGC 电路

同步头向下的正极性视频信号通过 R_{62}、C_3 组成的积分消

窄脉冲干扰电路，加到 VT_{74}的基极，差动对管的另一支管子 VT_{73}的基极加有固定电压 +2.5V。当输入信号较小时，正极性信号同步头底端电平高于 2.5V，VT_{74}导通、VT_{73}截止，VT_{73}集电极为高电平 +8.5V（VT_{73}集电极与发射极是断开状态），所以 VT_{67}导通、VT_{68}截止。

因为正极性视频信号底端同步头高于 +2.5V，加在 VT_{64}基极上时，使 VT_{64}导通，VT_{65}、VT_{66}截止。由于 VT_{64}、VT_{67}的导通，所以二极管 VD_{13}通过 R_{86}、R_{83}、VT_{67}、VT_{64}而导通，并给 VT_{70}提供正向偏压使之导通，因为接在 VT_{70}集电极回路中的 VT_{68}是截止的，所以 VT_{70}集电极电流通过⑭脚对电容 C_{124}充电，充电电流为 I，当 C_{124}上充的电压上升到 +11V 左右时，⑭脚电压就作为中放 AGC 电压通过分压电阻送到 TA7607AP 内部的三级差动中放的基极作为 AGC 控制电压。以上分析的是 AGC 均未起控，中放处于高增益状态。

当输入信号增大时，同步头顶端电压将低于 2.5V，但高于 1.6V（VT_{66}基极为 1.6V），此时 VT_{64}仍然导通，而 VT_{74}截止（因为 VT_{73}基极为 2.5V），导致 VT_{73}导通。VT_{73}导通后，会使 VT_{67}的基极电压降到 4.2V 以下（VT_{68}基极为 4.2V），此时相当于 VT_{73}集电极输出了一个负向脉冲，导致 VT_{67}截止、VT_{68}导通，并引起 VT_{70}基极电位上升而截止（VT_{70}为 PNP 型管，此时 C_{124}向 VT_{68}及 VT_{64}放电，放电电流也就是 VT_{68}的集电极电流，与此同时，C_{124}上的电压随之下降，因此通过电阻 R_{88}送往中放的 AGC 电压也下降，从而使中放增益降低。

输入信号越强，同步头电压越低，VT_{68}的导通电流也越大。C_{124}放电电流增大，电压下降就加快，使中放增益尽快降下来，保持输出稳定，这种控制方式就是反向 AGC 控制。

当电视信号中混有大幅度脉冲干扰时，若干扰脉冲低于1.6V（VT_{66}基极为1.6V）时，VT_{66}、VT_{65}导通，VT_{66}射极串有一个电阻R_{84}，所以主要由VT_{65}分流，VT_{66}电流很小，所以C_{124}通过VT_{68}的放电电流I'很小，第⑭脚电压不会因为很小的放电电流I'而降低，因此干扰脉冲就不会使AGC电压突然下降而引起增益的下降。

（5）视频检波电路

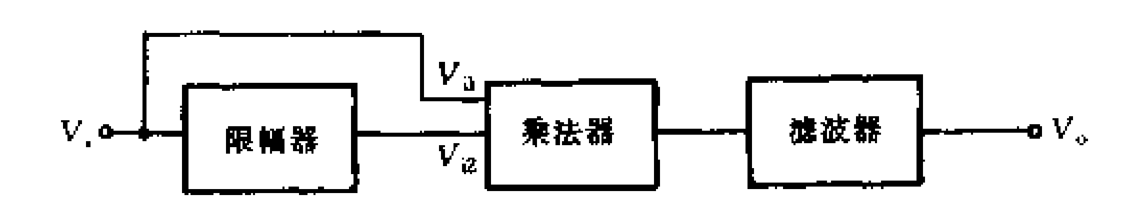
分立元件的电视机中，视频信号的检波大多采用二极管检波，它的电路简单，使用方便，并且能在检波的同时完成38MHz图像中频信号与31.5MHz的伴音中频信号的混频，得到6.5MHz的第二伴音中频信号。在集成中放电路中，往往采用乘法器检波（又称同步检波器），这种电路的优点是检波器的输出与输入为线性关系，不会产生二极管检波时的非线性失真。另外，乘法器同步检波还会有一定的电压增益，而二极管检波不但没有电压增益，还会有检波损失。同步检波器框图及波形图如图12－49所示。

经三级中放放大后的图像中频信号首先送入限幅器，得到等幅的中频载波，如图12－49(b)中的V_{i2}波形。在乘法器中，电视图像中频信号V_{i1}与中频等幅信号V_{i2}相乘，得到调制信号（即视频图像信号），经滤波器滤波后，送到预视放进行放大。

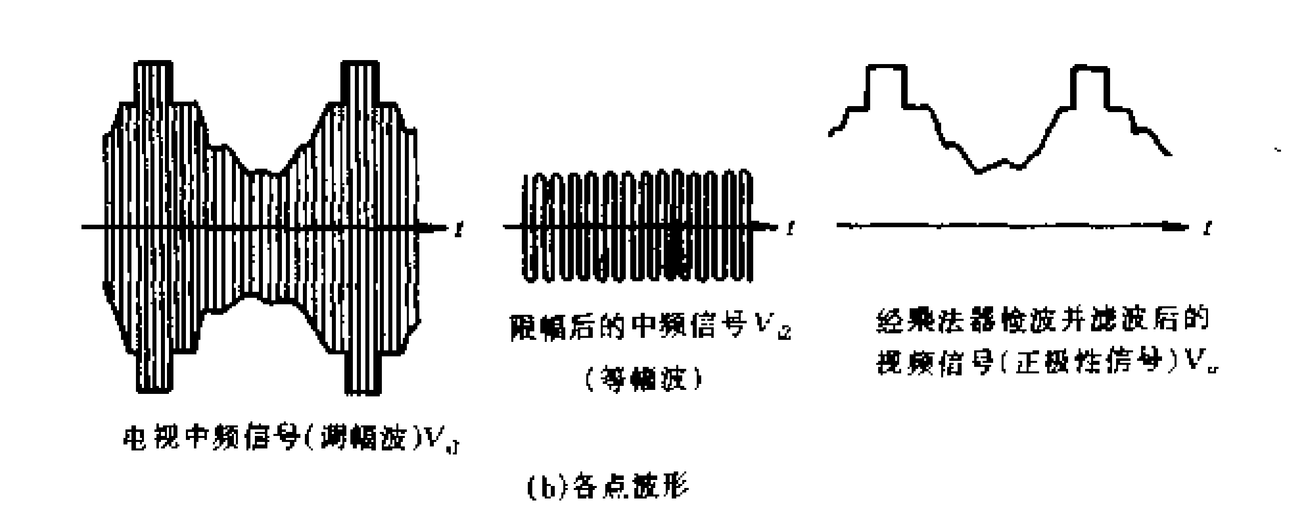
在集成化的图像中频通道中，采用的是双平衡乘法检波器，其简化电路见图12－50所示。

图12－50(a)为限幅器电路，电视图像中频信号v_{i1}由差动放大器的双端输入，经放大后在VT_3、VT_4的集电极输出，输出信号被正反向并联的二极管VD_1、VD_2限幅。若限幅二极管为硅管，则限幅值在±0.6V左右。图像中频调幅信号被切割限幅后变成了等幅波，它的正弦波波形的完整与连续由调谐在38MHz

的 L_1、C_1 来完成。图 12－50(b)为乘法器电路，限幅后变成等幅波的 V_{i2} 与图像中频调幅波 V_{i1} 同时送入模拟乘法器。



(a)同步检波器框图



(b)各点波形

图 12－49 同步检波器的框图及波形图

设调幅波包络的低频调制信号是一个正弦波 $V\cos\Omega t$，则调幅波信号可表示为

$$V_{i2} = V_2(1 + m\cos\Omega t)\cos\omega_o t$$

式中，V_2 为图像中频载波的振幅，ω_o 为中频角频率，m 为调幅系数。

V_{i2} 经过限幅放大后变为等幅波，可表示为

$$V_{i1} = V_1\cos\omega_o t$$

设 k 为模拟乘法器的传输系数，则它的输入电压为

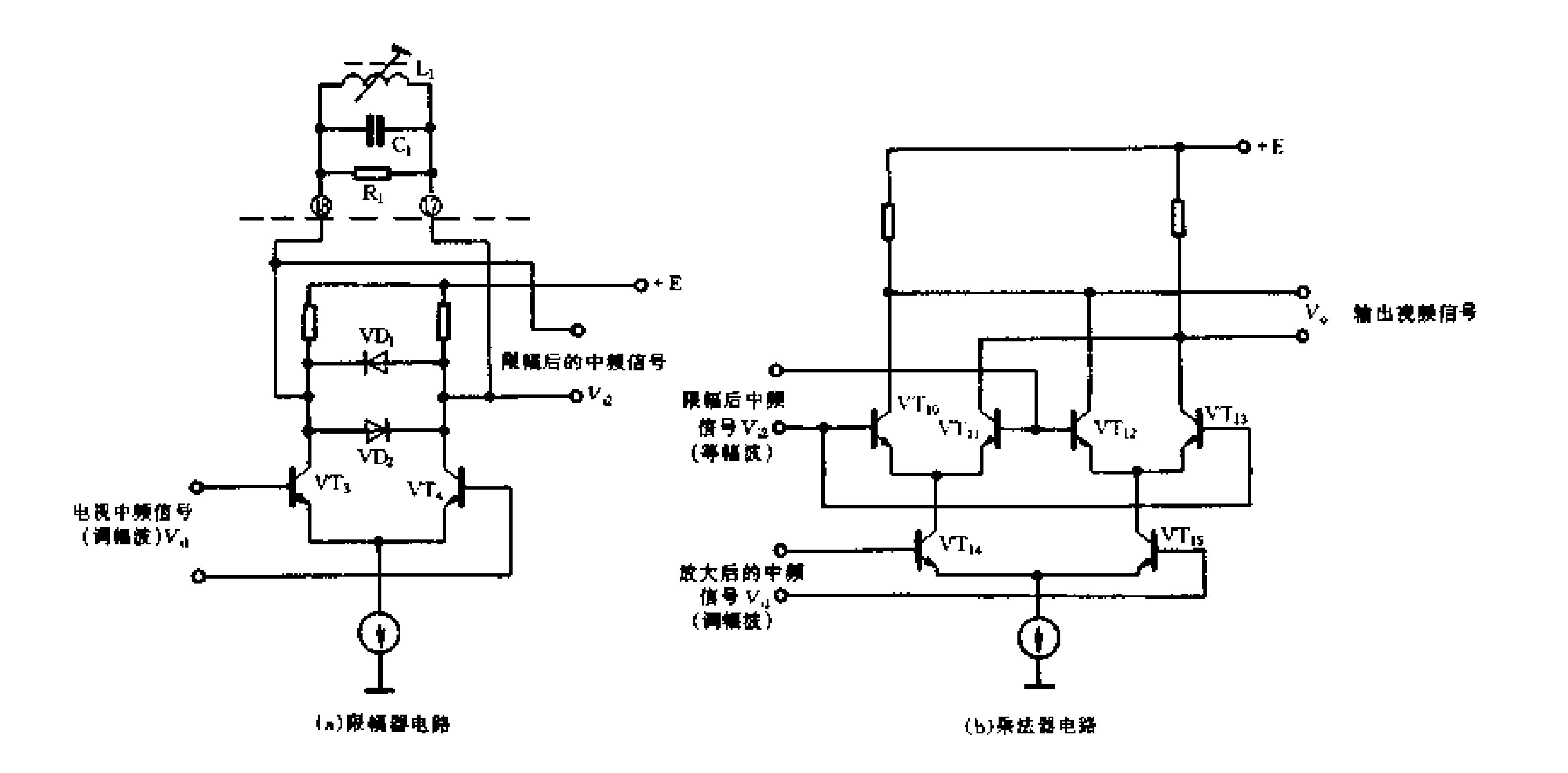


图 12－50　集成中放电路中的限幅器、乘法器电路

$$V_i = V_{i1} \cdot V_{i2} = kV_1V_2(1 + m\cos\Omega t)\cos^2\omega_o t$$

$$= \frac{1}{2}kV_1V_2 + \frac{m}{2}kV_1V_2\cos\Omega t + \frac{1}{2}kV_1V_2(1 + m\cos\Omega t)\cos2\omega_o t$$

上式中，第一项为直流分量，第二项为检波得到的低频信号，第三项为中频载波的二次谐波。经过低通滤波器把中频载波的二次谐波滤去，就得到角频率为 Ω 的低频信号的输出。

从上列模拟乘法器的输出电压表达式可知，检波器输出信号为 $\frac{m}{2}kV_1V_2\cos\Omega t$，所以检波器有增益，其值为 $\frac{mkV_1}{2}$，一般双平衡乘法检波器的增益可达 20dB 以上。还可看出，在检波器输出信号中，没有中频载波 ω_o，因此检波器的幅射对图像中频放大器的寄生反馈基本上可以消除，有助于提高图像中频通道的稳定性。

3. 伴音处理电路

(1) 专用伴音解调芯片 TA7176AP

电视伴音电路种类很多，这里只介绍一种常用的集成电视伴音专用处理电路 TA7176AP。它的内部功能框图及外围电路如图 12－51 所示。此电路在黑白、彩色电视机中可以通用。

中心频率为 6.5MHz 的第二伴音中频信号，依然是调频信号，由 L_1 送到 TA7176AP 的第①、②脚，经过放大并限幅，除去寄生调幅等干扰，送到鉴频器进行调频信号的解调。第⑨、⑩脚所接的 L_2、C_2 调谐回路为鉴频调谐回路，谐振于 6.5MHz。鉴频后得到的伴音声频信号送到电子音量控制电路，这种音量控制电路的优点是用一个直流电位去控制音量的大小，避免在使用音量电位器时感应出的交流声及其他干扰信号。伴音声频信号经电子音量控制器送到由射极跟随器组成的缓冲级，以便使前后级隔离，再进入低放电路。声频功放置于集成电路之外，由分立元件组成。

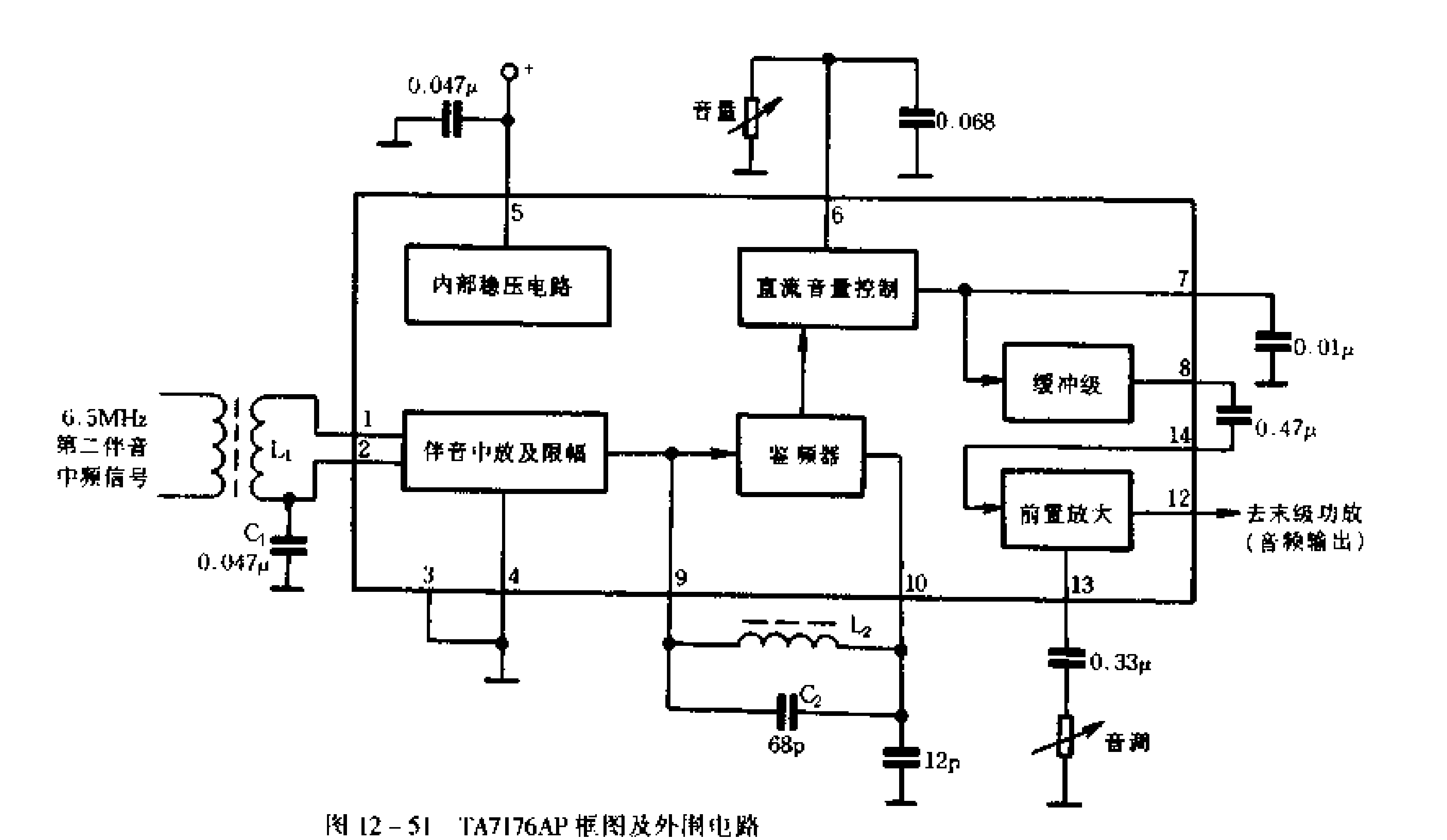


图12－51　TA7176AP框图及外围电路

(2) 鉴频原理

在 TA7176AP 内部电路中，最主要部分是鉴频器，为此，我们专门介绍鉴频部分的工作原理。它的简化电路如图 12－52 所示。

图中 VT_{24}、VT_{25}组成差动放大器，VT_{23}、VT_{26}射极接有电容 C_3、C_4，与 VT_{23}、VT_{26}的 be 结组成峰值检波器，VT_{22}、VT_{27}为射极跟随器，输入信号为 V_1 与 V_2。当有输入信号时，C_3、C_4 上产生峰值检波电压 V_{C3}、V_{C4}，它们分别与 V_1、V_2 的峰值成正比，这二个电压经 VT_{24}、VT_{25}差动放大后，由 VT_{25}集电极单端输出，输出电压 V_o 正比于 V_1-V_2。

由图 12－52 可见，在集成电路⑨、⑩脚外面接有 LC 谐振电

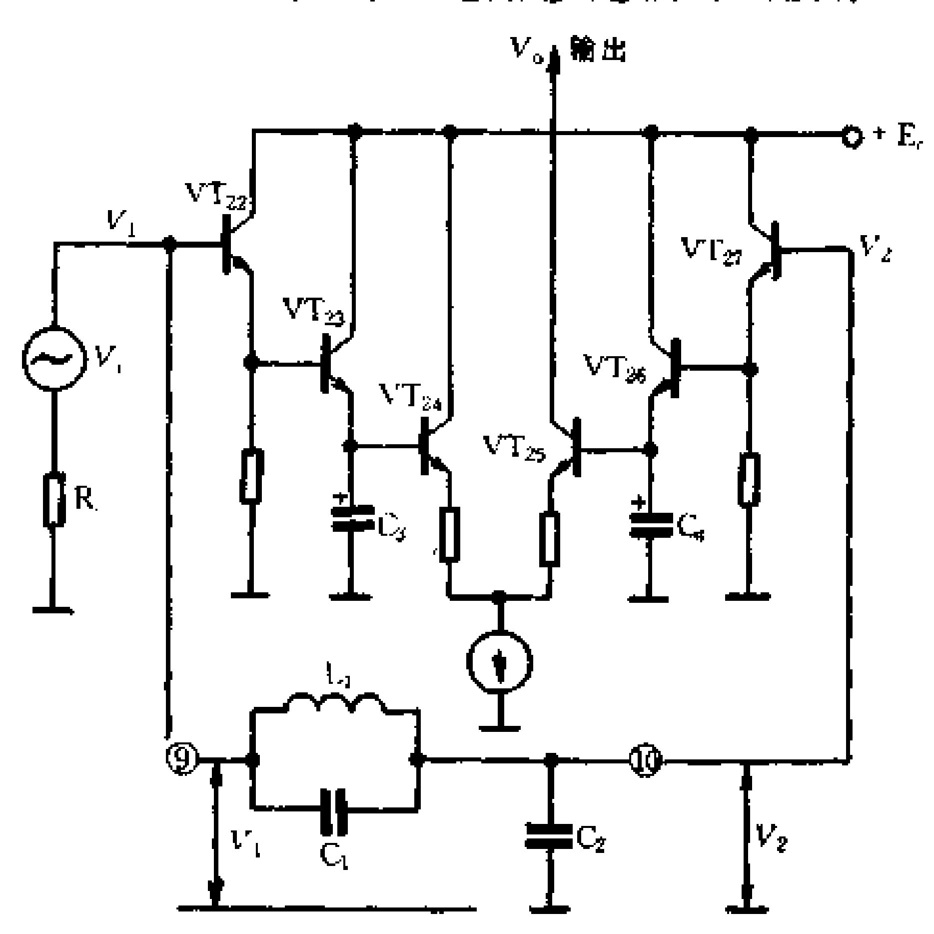


图 12－52　差动峰值鉴频器电路

路作为移相网络。设 L_1C_1 的并联谐振频率为 f_1，则

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}$$

再设 L_1C_1 呈现感性时与 C_2 可以有一个串联谐振频率 f_2，则

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1(C_1 + C_2)}}$$

可以看出 $f_2 < f_1$。此时移相网络与差动检波级都是输入信号 V_i 的负载。V_i 是一个调频信号，它的频率围绕中心频率上下变化，我们可以在两个特殊频率点上进行分析，当 V_i 信号频率变化到 f_1 时，因为 L_1、C_1 并联谐振于 f_1，所以 L_1、C_1 两端阻抗很大，⑨脚对地电压 V_1 很大，而 C_2 对地(即⑩脚对地)电压 V_2 很小。当频率变化到 f_2 时，因为是 L_1、C_1 与 C_2 形成串联谐振，在谐振点 f_2 时阻抗很小，所以 V_1 很小，而此时 V_2 幅度较大。当输入信号 V_i 的频率变化在 $f_1 \sim f_2$ 之间时，V_1、V_2 的变化曲线如图12－53所示。

V_1、V_2 曲线对称而且恰好相反，且 V_1、V_2 作为差模信号加于差动检波器上，输出电压经峰值检波后的差值 $V_1 - V_2$，见图12－53(b)所示。

四、解码器电路

解码器是彩色电视机的核心部分。解码器电路由三大部分组成，即：亮度通道、色度通道和色同步通道(副载波恢复电路)。图 12－54 绘出了解码器电路的方框图。

亮度通道是亮度信号选取、放大和处理系统。从视频检波和预视放电路输出的全电视信号，在送往色度带通放大电路的同时，有一路送往副载波陷波器(ARC 电路)，经过陷波滤去4.43 MHz 副载波色度信号，即可得到亮度信号 Y。这个亮度信号再

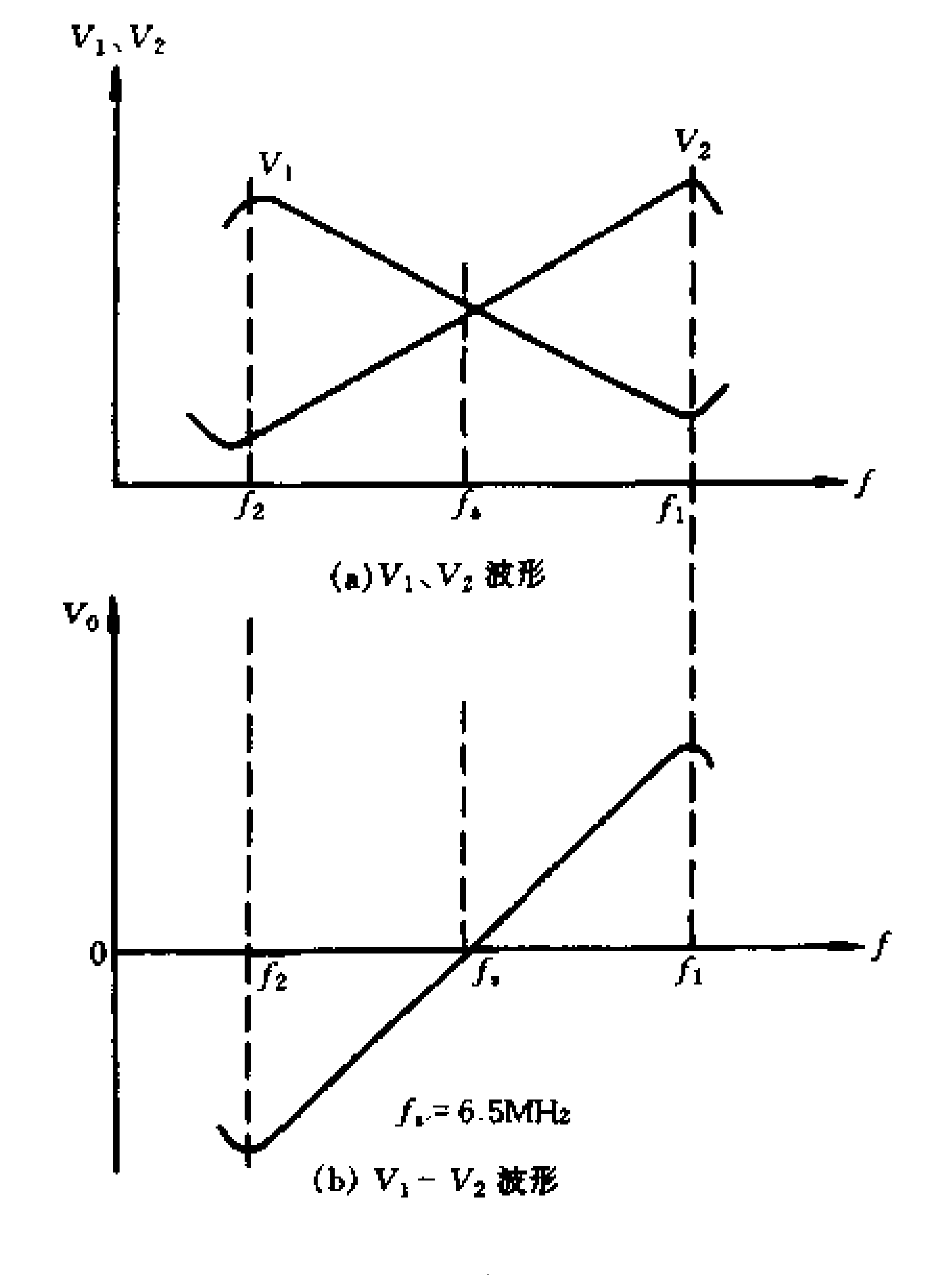


图 12－53　差动鉴频的幅频特性曲线

经过 0.6μs 的延时电路、Y 信号放大电路，并加入必要的行消隐信号，最后输出一个符合要求的亮度信号加给基色矩阵输出电路，进行基色矩阵转换。

色度通道由色度带通放大电路、色度自动控制电路(ACC)、自动消色器电路(ACK)、梳状滤波器、(R－Y)、(B－Y)同步解调器、(G－Y)矩阵电路和色差信号放大电路等几部分组成。色度通道输入的是彩色全电视信号，输出的是三个色差信号。

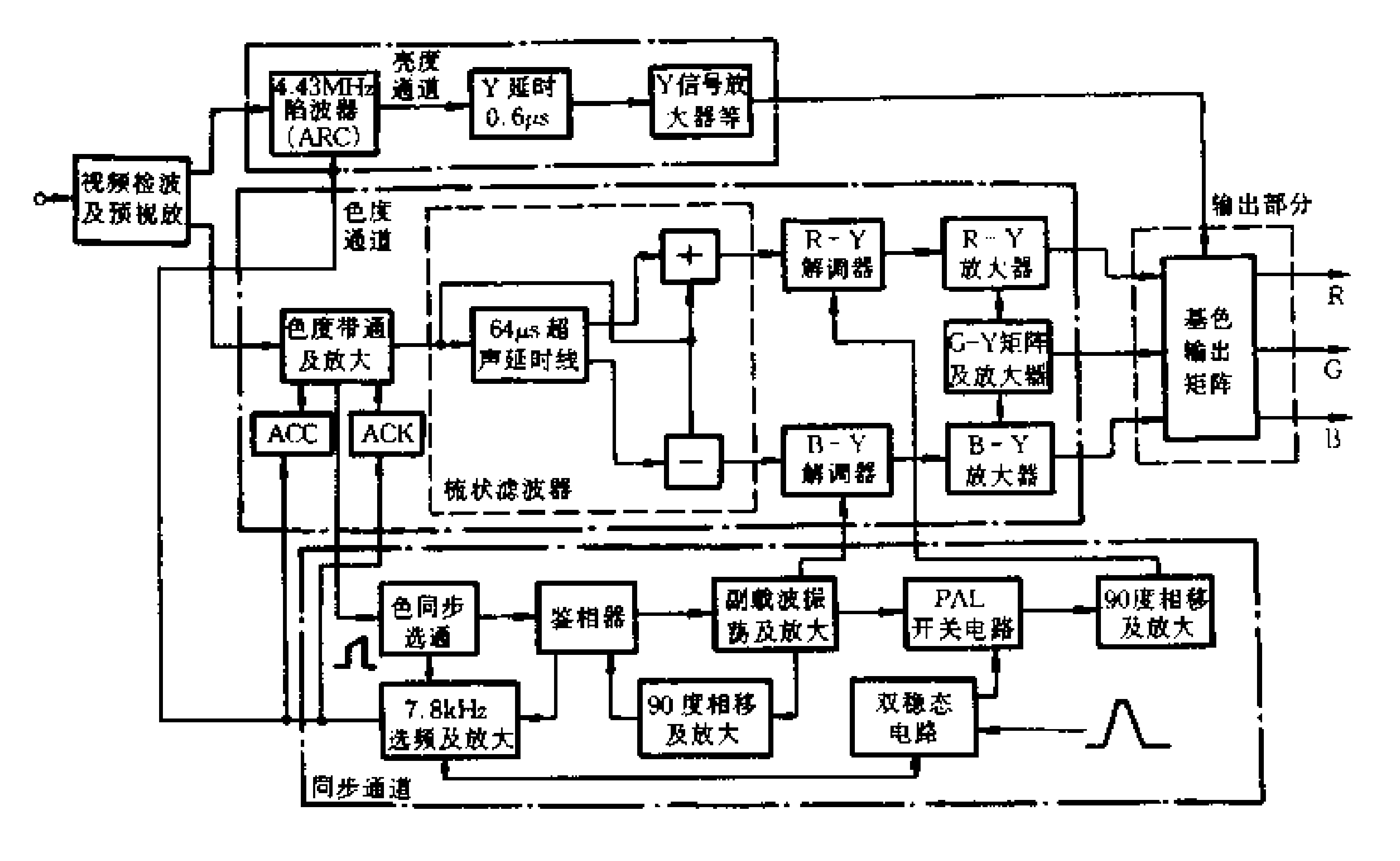


图12−54　解码器电路方框图

色同步通道主要由色同步选通电路、鉴相器，副载波振荡及放大电路、7.8kHz选频及放大电路，双稳态电路、PAL开关电路和90°移相放大电路等组成。彩色全电视信号经过色度带通放大电路之后，产生的色信号在送入梳状滤波器的同时，有一路送入色同步选通电路，另外还有一个延迟的行同步脉冲，也送入色同步选通电路。色同步选通电路把位于行同步脉冲后肩的色同步信号取出，然后把色同步信号和从副载波振荡电路送来的副载波信号，一起送入鉴相器进行相位比较，再从鉴相器输出一个与两个信号相位差成正比的直流控制电压，用于控制副载波振荡器的频率和相位，以便与发射端准确同步。相位正确的副载波，一路直接送入(B－Y)同步检波器中进行解调，另一路先经过PAL开关逐行倒相，再经90°相移电路，最后加入(R－Y)同步检波器中进行解调。从鉴相器中还要取出一个7.8kHz半行频的PAL识别信号，经选频放大后，分别去控制PAL开关电路、ACC、ACK及ARC等电路，以保证这些电路能正常工作。

目前，国产的各种彩色电视机，都采用了集成化的解码器电路，常用的集成电路有TA7193、TA7622、AN5620、AN5612、TA7698AP等。这里仅以TA7698AP为例，介绍一下集成电路解码器工作原理。

TA7698AP的原理框图如图12－55所示，它是集亮度、色度解码、色副载波振荡及扫描电路为一体的多功能集成电路芯片，下面分别予以介绍。

1.亮度通道

亮度通道的有关电路及其外围电路示于图12－56中。

彩色全电视信号由TA7698AP第㊴脚输入，分别进入对比度放大(即视频放大)及倒相放大电路。倒相放大后的信号由㊵脚输出，分别送到色度解码及同步分离电路。对比度放大电路

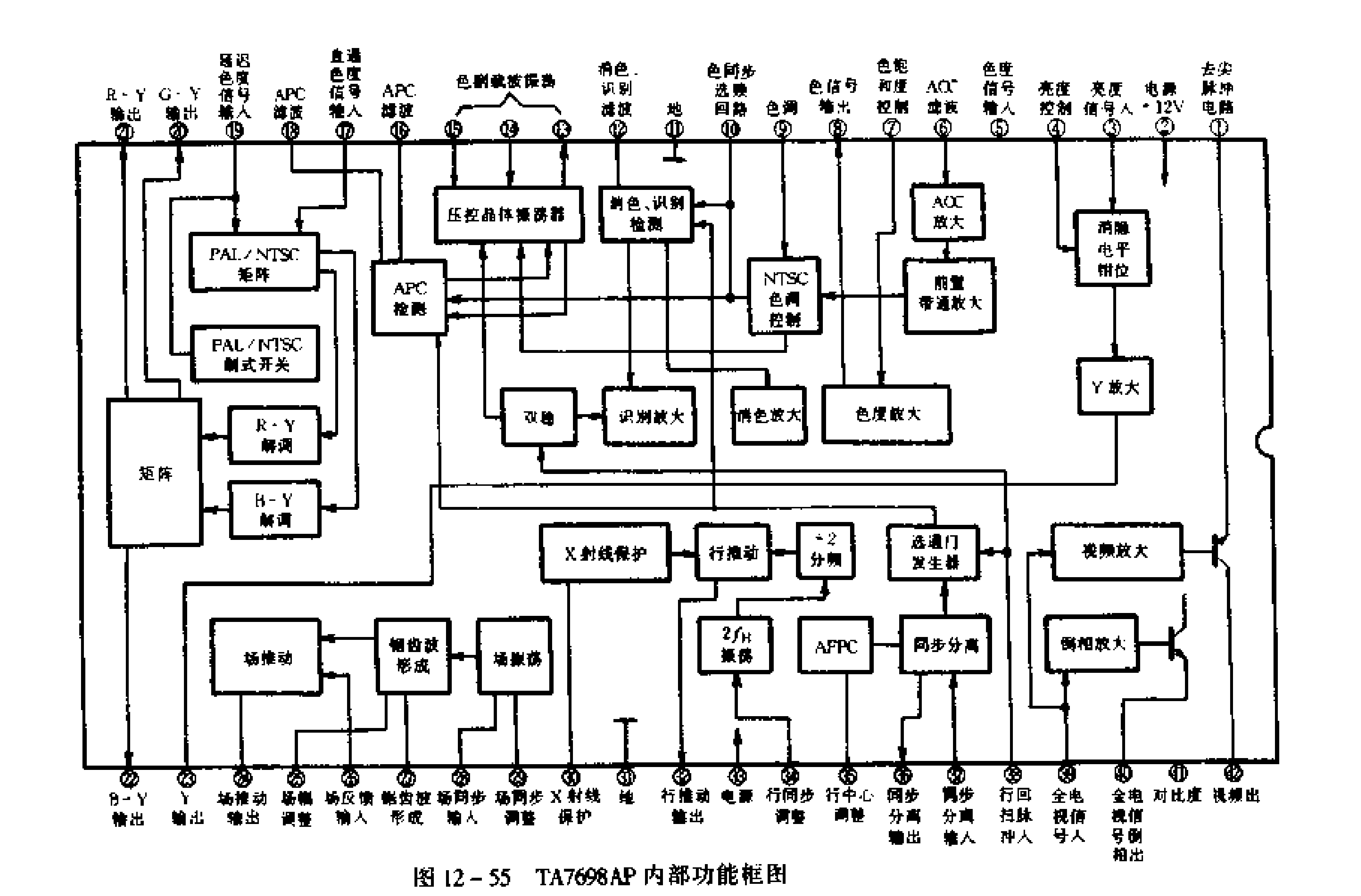


图12-55 TA7698AP内部功能框图

末级放大管的发射极通过①脚外接发射极电阻、旁路电容，用以提升高频，集电极由㊷脚输出，通过亮度延迟线（约 0.6μs 延迟），同时接有 4.43MHz 的色副载波陷波电路，经过上述处理去除了色度信号，成为纯亮度信号，这个亮度信号 Y 由第③脚输入。彩色全电视信号经陷波变为亮度信号的前后频谱如图 12－57所示。

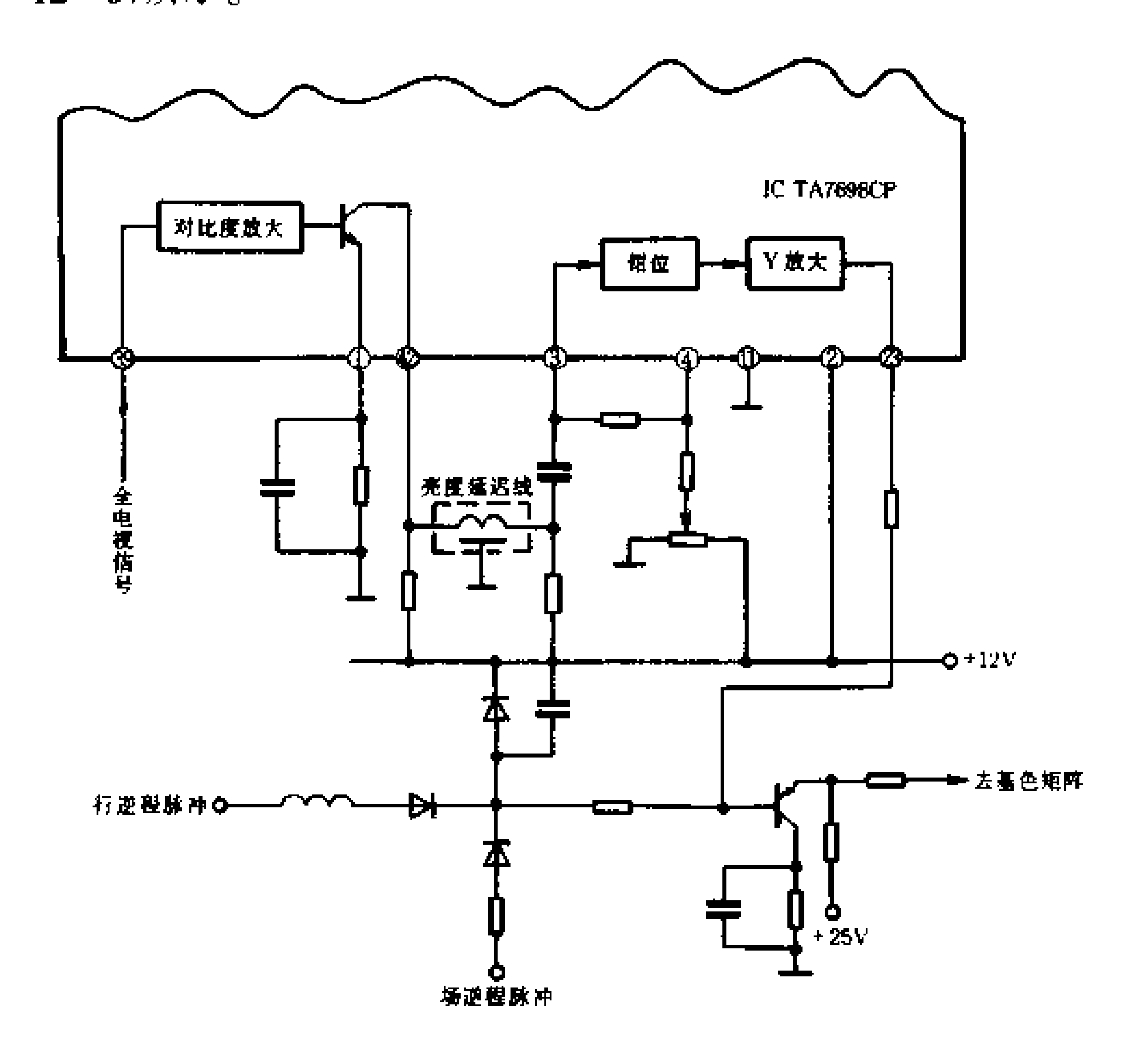


图 12－56　亮度处理电路

(1) 色副载波的吸收

彩色全电视信号中色度信号与亮度信号在频谱中有重叠部

分、虽然采用了频谱交错技术，但如果在亮度通道中不设法抑制色度信号，屏幕上将会出现亮点干扰。加入4.43MHz陷波器，把色度信号吸收掉，就可以去除这些亮点的干扰。需要注意的是，对于4.43MHz及一定频带内信号的吸收，也会使这部分亮度信号一同丢失，因为视频范围内高频成份代表了图像细节，所以加入吸收回路（显示彩色图像时）图像清晰度将会下降。为了弥补这一缺陷，亮度电路中设有轮廓增强电路（又称"勾边"电路），以增强图像的清晰度。

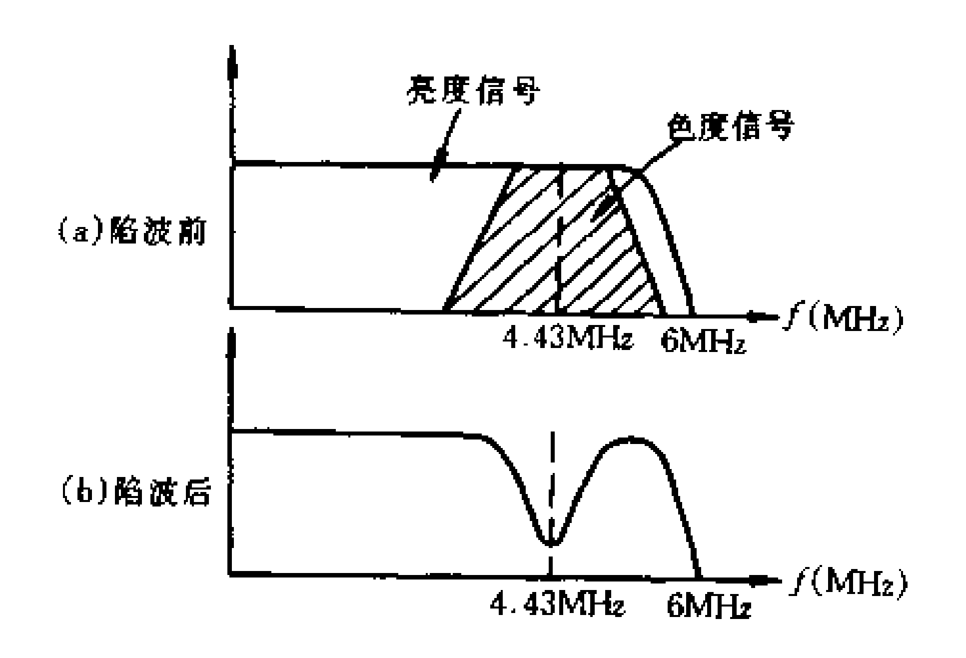


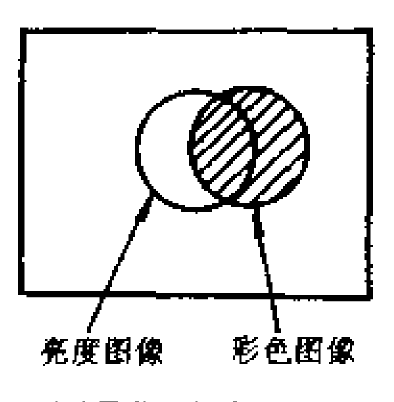
图12-57 彩色全电视信号陷波前后频谱示意图

当彩色电视机接收黑白电视信号时，为增加图像清晰度，电路中4.43MHz陷波器电路应及时断开，使因陷波而下凹的曲线变平。这种电路称为自动清晰度控制电路，又称ARC电路。

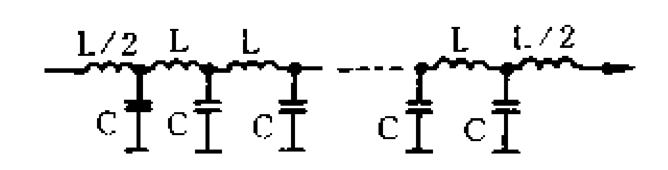
(2) 亮度通道的延时

因为色度通道比亮度通道的带宽要窄，所以色度信号比亮度信号在放大时通过的时间要长些，色度信号到达基色矩阵比亮度信号约晚0.6μs左右，如果不采取措施，在屏幕上显示图像时，会出现套色不准的现象，如图12-58(a)所示。为了防止发

生这种情况，在亮度通道中接入“亮度延时线”，以使色度、亮度信号同时到达基色矩阵。图 12－58(b)是由 18～20 节 LC 网络组成的延时线。



(a)屏幕上的彩色滞后情况



(b) LC 组成的亮度延时线

图 12－58　亮度信号的延时

(3) 轮廓增强电路

轮廓增强电路又称为“勾边电路”。它的作用是弥补由于 4.43MHz 副载波吸收电路造成的图像清晰度下降。

在电视图像中，有许多从白色突变为黑色(或者相反的情况)的点，在这些突变的点上包含了许多高频成份，与此对应的图像与波形如图 12－59 所示。

在图 12－59(a)中，当亮度信号波形为一矩形脉冲时，图像显示的黑白交界很清晰；当高频成份损失后，矩形脉冲的前沿与后沿特性变差，在屏幕上显示时，黑白交界处不明显，出现一个过渡区，造成清晰度下降，见图 12－59(b)所示。通过“勾边”电路使失去高频成份的矩形脉冲的前、后沿各加一个上冲和下冲的小脉冲，就会使图像交界处的过渡区内出现一个比黑色更黑些比白色更白些的分界线，如同给图像勾了一个边，图像轮廓清楚了，清晰度也提高了，见图 12－59(c)。勾边电路如图 12－60 所示。

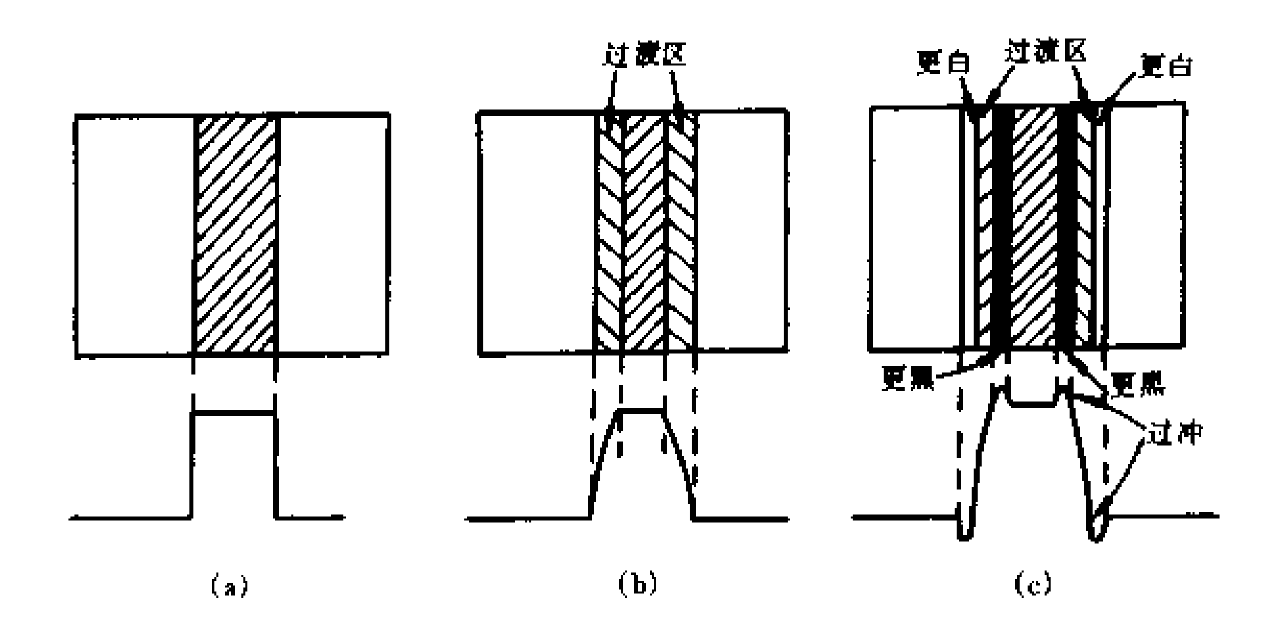


图 12-59　轮廓增强原理

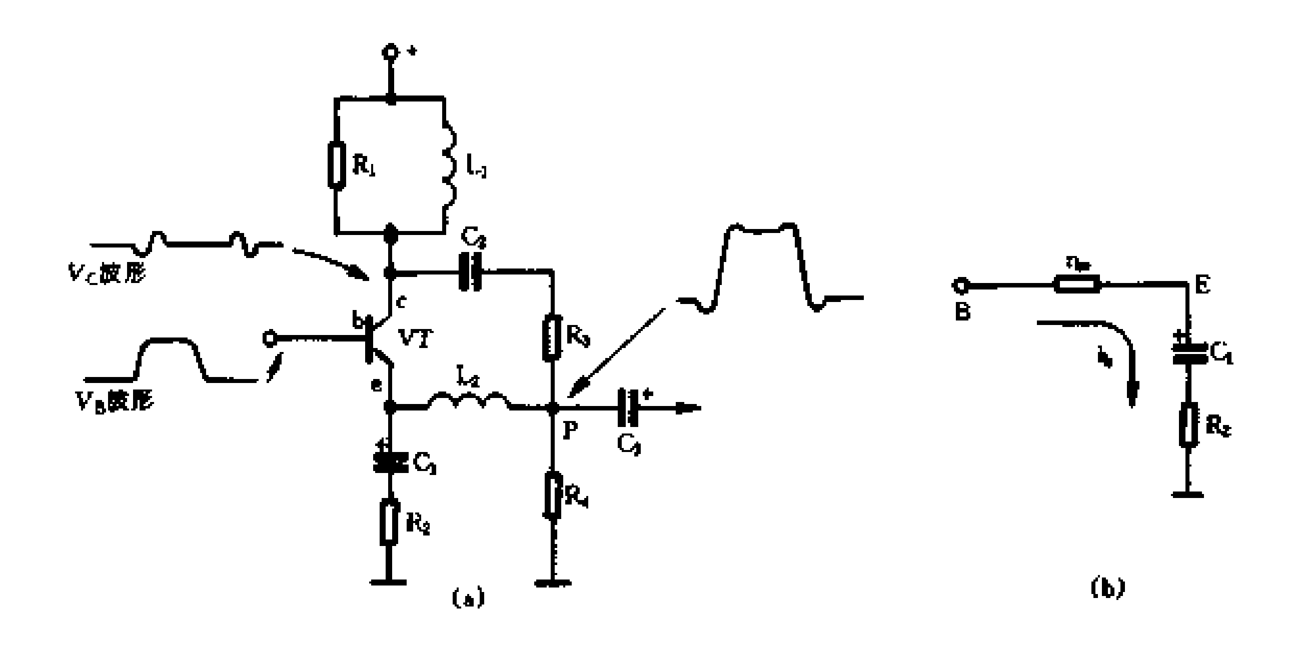


图 12-60　勾边电路

图 12-60(a)为勾边电路,图 12-60(b)为 be 结回路等效电路。当输入到勾边电路中的信号波形为 V_B 时,由于输入回路时间常数(r_{be}, C_1, R_2)与信号波形相比很小,所以图 12-59(b)实际是一个微分电路。电路各部分波形图见图 12-61 所示。

当输入信号电压 V_B 缓慢上升时[图 12-61(a)],微分电路

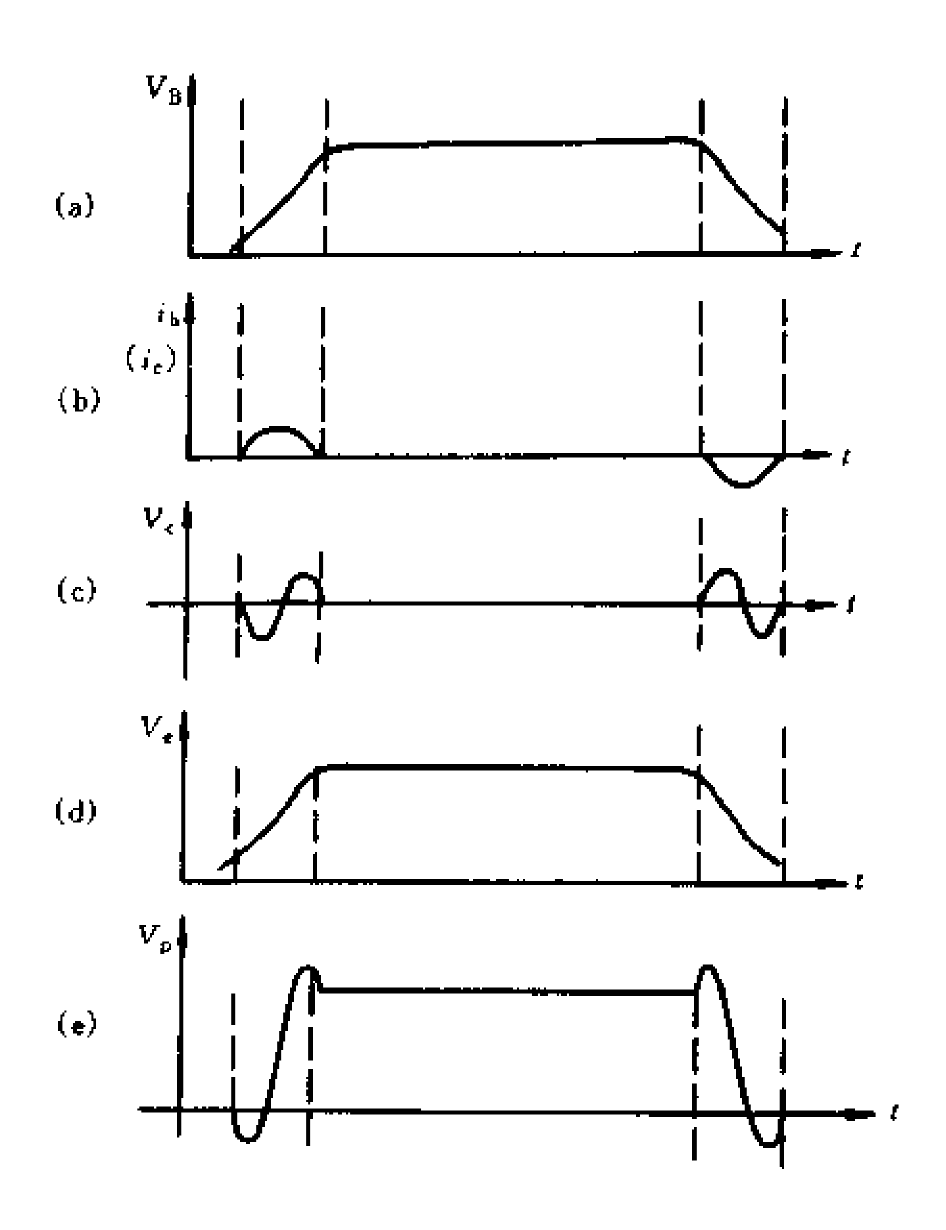


图 12-61　勾边电路中电压、电流波形图

r_{be}、C_1、R_2 中通过的电流如图 12-61(b)所示，这个电流是基极电流 i_b，因为晶体管 VT 处于放大状态，所以 $i_c = \beta i_b$，i_c 波形与 i_b 相同(图中未画)，在 VT 集电极回路为一电感线圈(并联的电阻用以控制勾边脉冲的大小)，在 i_b 急剧变化的期间，i_c 也急剧变化，并在电感线圈 L_1 中产生自感电动势 e_L，即

$$e_L = -L_1\frac{di_c}{dt} \approx -L_1\frac{\Delta i_c}{\Delta t}$$

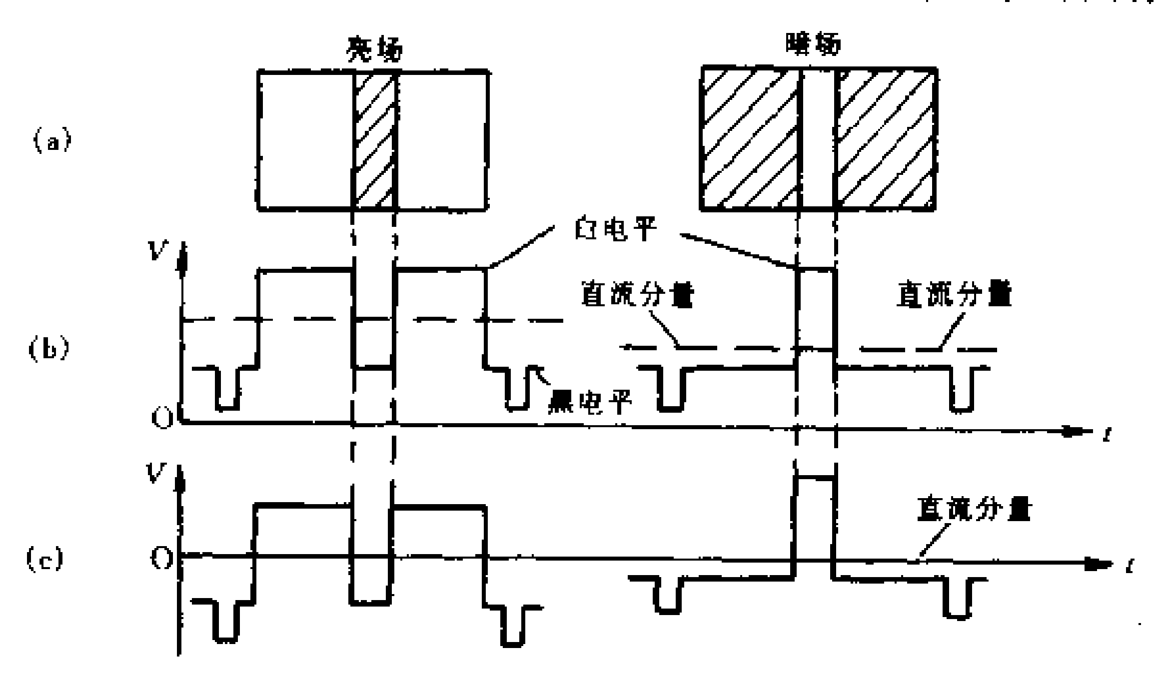
e_L 的方向总是对抗 i_c 的变化，i_c 增大期间，V_c 与 i_c 方向相反，

i_c减小期间 V_c 与 i_c 方向相同，由此绘出了图 12－60 中 V_c 的波形。V_c 经 C_2、R_3 耦合到 P 点与电压 V_e 相叠加，形成的 V_p 波形如图 12－61(e)所示，这就是勾边电压。

（4）直流恢复电路

电视信号是单极性信号，这种单极性信号中含有直流成份，直流成份等于电视视频信号的平均值，反映着图像信号的平均亮度。图像中明亮场面与暗淡场面，它们的直流分量各不相同。由于在电路中经常使用耦合电容器，将图像信号中的直流分量隔断，使单极性信号变成了纯交流信号。于是，图像信号的黑电平就不固定，背景亮度会随图像的内容而变化。

图 12－62(a)是电视屏幕上的图像，图 12－62(b)为单极性的视频信号，在这种视频信号的驱动下，电视屏幕上正确显示图像的亮度；图 12－62(c)为经过隔直流耦合电容以后，视频信号丢失了直流成份后的信号波形。由图中可以看出，原来的图像



(a)亮场与暗场图像；(b)亮场与暗场原电视信号；(c)经耦合电容后的两种电视信号的波形

图 2－62　丢失直流成份对图像亮度的影响

信号消隐黑电平处于同一水平线上，经过耦合电容后，由于失去了直流分量，图像信号不再是单极性信号，不再以黑电平为基准，而是以直流分量的平均值为基准，处于同一水平线上。这样，不同的图像信号，背景亮度也不相同。如果我们以图12-62(c)亮场信号的黑电平为基准调好了显像管的工作点，那么暗场信号在荧光屏上就表现为灰底白条图像，而且由于白条的电平超过标准白电平而可能出现饱和散焦现象。在传递彩色信号时，将造成图像彩色的大面积失真。为此，彩色电视机中必须保留图像信号的直流分量。目前大多采用交流耦合电路放大和处理信号后，再用钳位电路恢复直流分量。

图12-63(a)是晶体管钳位电路，我们结合图12-63(b)的波形说明晶体管的钳位过程。

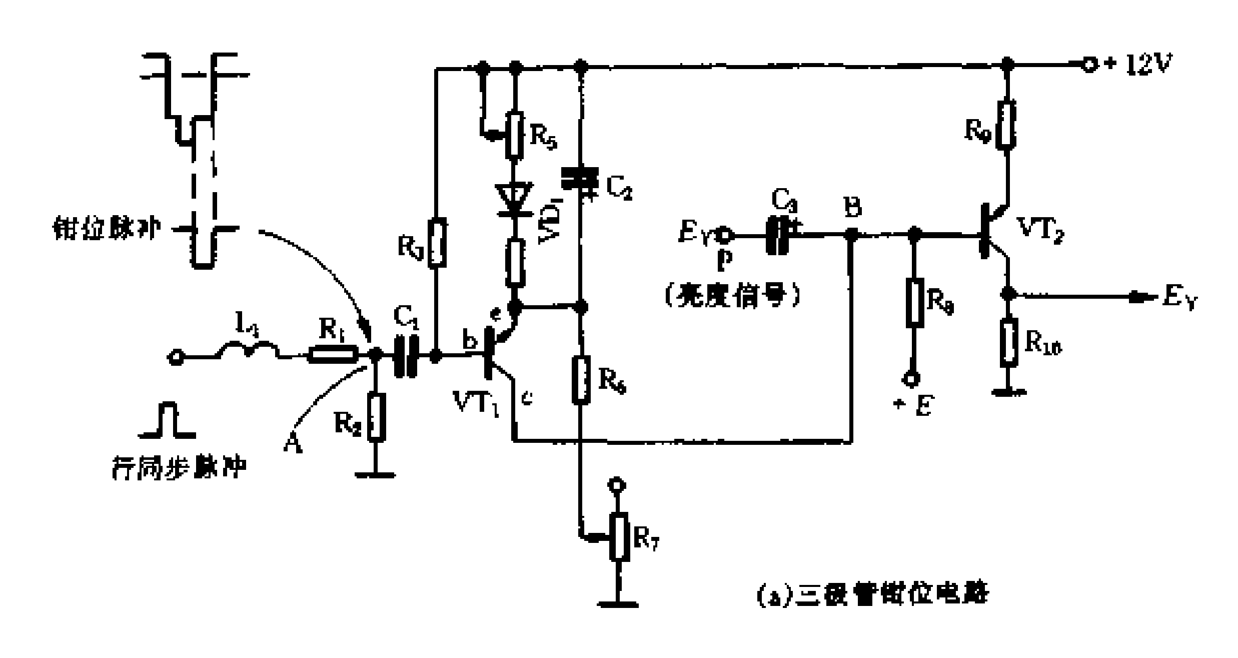
在P点输入的是丢失直流分量的亮度信号，在A点输入钳位脉冲，它是由L_1、R_1、R_2把行同步脉冲延时后得到的。因为VT_1钳位管是PNP型晶体管，平时处于截止状态，只有在负向同步头脉冲到来时，VT_1才导通。

当钳位脉冲到来时，在P点的电位已经对应着丢失了直流分量亮度信号中的消隐电平V_{P1}，见图12-63(b)最下面的虚线所示，而B点电位由于VT_1的导通而等于V_e(因VT_1导通$V_C=V_e$)，所以$V_e>V_{P1}$，电容C_3两端存在着电位差，所以C_3开始充电，电容C_3上充的电压为V_C，$V_C=V_e-V_{P1}$。当钳位脉冲过后，VT_1截止，C_3放电，因为放电回路电阻很大，所以放电缓慢，C_3上电压基本保持不变。此时B点电位为

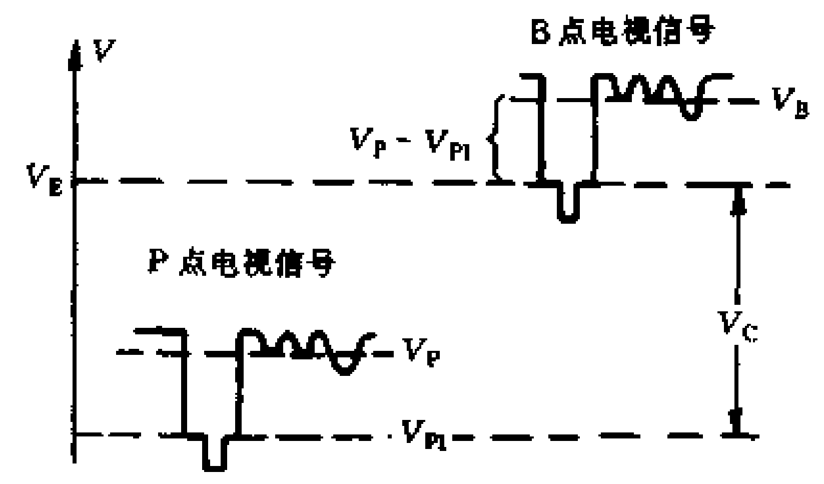
$$V_B=V_C+V_P=(V_E-V_{P1})+V_P=V_E+(V_P-V_{P1})$$

由上式可以看出，当P点电位由于图像亮暗变化而偏离消隐电平V_{P1}时，V_B会随之改变，使B点电视信号消隐电平总是保

持在 V_e 的电平上。改变 R_5、R_7 可以改变 V_e 的大小，也就改变了钳位电平的大小。



(a)三极管钳位电路



(b)钳位电路中的波形变化

图 12－63　三极管钳位电路及波形

(5) 自动亮度限制电路(ABL)电路

自动亮度限制电路的作用是限制显像管束电流，使它不超过额定值。束电流过大，会使显像管亮度过高，造成荧光屏加速老化，同时也会使高压电路过载，时间过长会导致元器件损坏，所以对束电流必须加以限制。

限制束电流的电路称为自动亮度控制电路(ABL 电路),它的基本原理图如图 12-64 所示。

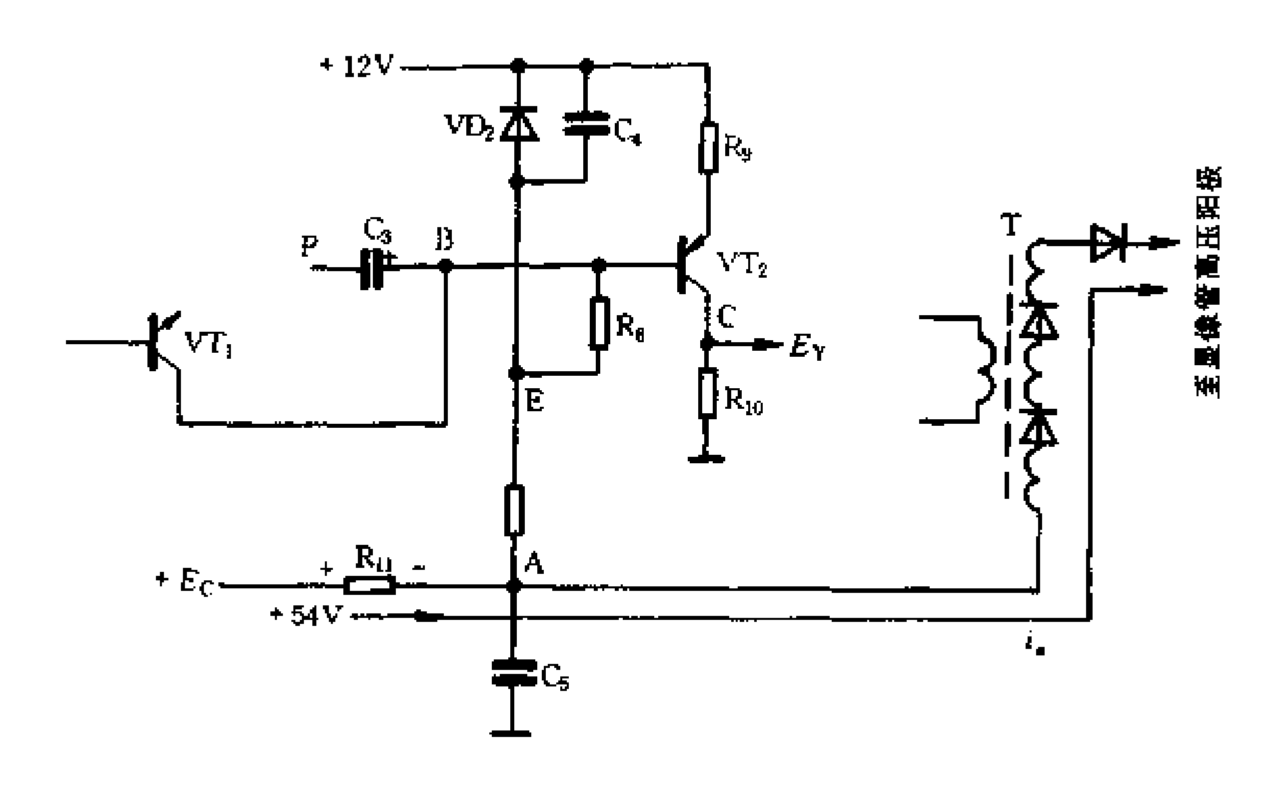


图 12-64 自动亮度控制 ABL 电路

图中 T 为行输出变压器,VT_1 是前面介绍的钳位晶体管,VT_2 是预视放管,显像管的束电流流过 R_{11} 时,在电阻 R_{11} 上产生电压降,使 A 点电位为 $V_A = E_C - i_a \cdot R_{11}$,当 i_a 未超额定值(约 $750\mu A$)时,$V_A > 12V$,VD_2 导通,$V_E \approx 12V$(忽略 VD_2 管压降),当 i_a 超过额定值时,R_{11} 上的压降加大,$V_A < 12V$,此时二极管 VD_2 反向偏置而截止,电视中出现以下过程:

$i_a \uparrow \rightarrow V_A \downarrow \rightarrow V_E \downarrow \rightarrow V_B \downarrow \rightarrow V_C \uparrow \rightarrow$ 显像管阴极电位上升 $\rightarrow i_a \downarrow$。

VT_2 集电极接在显像管阴极上,为什么阴极电位上升会使束电流 i_a 下降呢? 因为显像管的第一栅极(控制极)一般均接地,为零电位,阴极接晶体管集电极为高电位,所以栅阴极间电压为负值,称为栅负压,这个栅负压越负,则阴极发射的电子通

过量越小，束电流越小。当阴极上的电位升高时，栅极零电位不变，相当于栅极对阴极电压变得更负，所以使束电流 i_a 变小，限制了显像管屏幕过亮。

2. 色度通道

色度通道的任务是从彩色全电视信号中利用带通滤波器把色度信号滤出并加以放大，再通过自动色度控制(ACC)电路、自动消色(ACK)电路，把色度信号送到由延时线、加减法器组成的梳状滤波器，分离出 U、V 信号，分别送到相应的同步解调器中，解调出 B－Y、R－Y 两个色差信号，再把两个色差信号送到基色矩阵输出电路进行矩阵转换。最后输出三基色信号去激励显像管。

(1) 带通放大器与自动色度控制电路(ACC)

带通放大器是利用中心频率为 4.43MHz、带宽为 2.6MHz 的带通滤波器把色度信号从彩色全电视信号中滤出，然后进行放大，并通过色度信号的强弱变化控制色度放大器的增益，图 12－65是一个带通放大器与 ACC 电路。

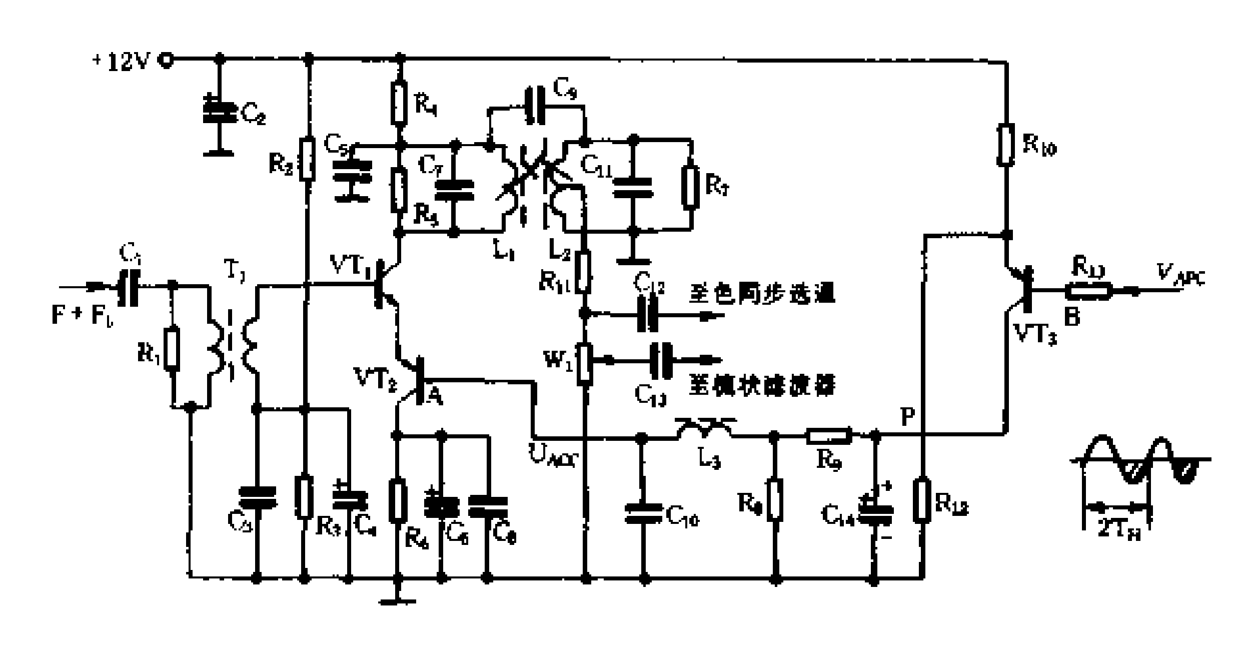


图 12－65　带通放大器与 ACC 电路

图中 VT_1 为带通放大管，在 VT_1 集电极有一个双调谐回路 L_1、C_2 和 L_2、C_{11}，它们都调谐在 4.43MHz 上，色度信号 F 和色同步信号 F_b 经 C_1 和变压器 T_1 接在 VT_1 基极上，由 VT_1 选频放大，再通过 C_{12}、C_{13}分别送入色同步选通电路及送到梳状滤波器解调。

VT_3 是 ACC 检波管，由副载波恢复电路送来的反映色度信号强弱的半行频识别信号 V_{APC}加到 VT_3 的基极。因为 VT_3 无偏置，所以无信号时截止。当正弦半行频信号负半周到来时，PNP 型的 VT_3 管导通(图 12-64 中 V_{APC}信号负半周为阴影部分)，导通电流为 C_{14}充电，经 R_8、R_9 分压及 L_3、C_{10}滤波后送到 VT_2 的基极，VT_2 的发射极到集电极等效为一个可变电阻。这个可变电阻成为 VT_1 的发射极电阻，这个变阻变大时，VT_1 增益降低；这个电阻变小时，则 VT_1 增益提高。当 V_{APC}较小时，C_{14}上充的直流电压较低，PNP 型的 VT_2 导通程度则较高，相当于 VT_1 发射极电阻变小，VT_1 的增益提高；当 V_{APC}较大时，情况与此相反。以上就是 ACC 的控制过程。

(2) 自动消色(ACK)电路

当电视台播放黑白电视节目或彩色电视信号过弱(在屏幕上的图像中虽有彩色，但雪花干扰严重)时，若把 4.43MHz 的副载波吸收回路断开，并把色度通道也断开，仍可收看较清晰的黑白图像，所以在以上两种情况下要求自动消色，把色度通道关闭，只显示黑白图像。

自动消色电路 ACK 电路需要的控制电压与上述 ACC 电路一样，但 ACK 更为简单。ACK 电路上需要通、断两种状态。一般是用代表色度信号强弱的半行频 7.8kHz 信号经整流滤波后的直流电压去控制色度通道中的某一级放大器，使它在接收黑白电视信号或彩色信号过弱，低于某一值后自动关闭色度通道，

图 12－66 示出了 ACK 的原理电路。

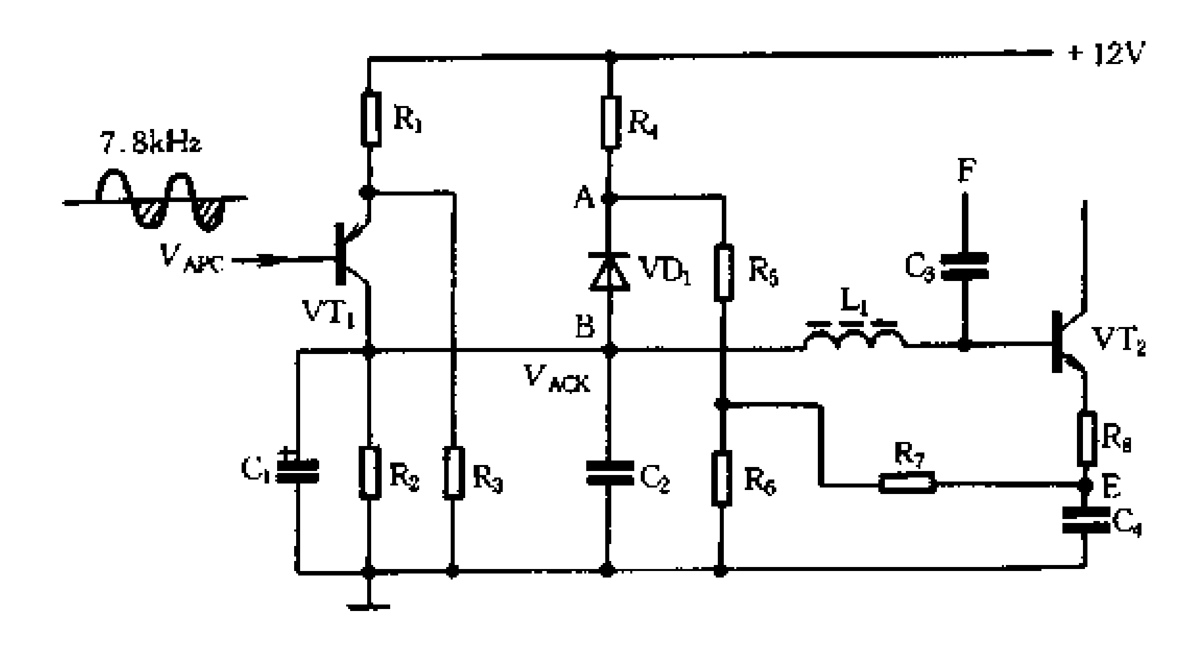


图 12－66 ACK 电路

VT_1 为 ACK 检波管，因为它是 PNP 管，当半行频正弦信号接入时，正弦波负半周使 VT_1 导通，并对 C_1 充电，形成 ACK 控制电压 V_B，当彩色信号较强时，$V_B>2.7V$，因为 $V_A=3.6V$（由电阻分压固定），此时 VT_2 进入放大状态，色度信号 F 送入 VT_2 基极放大后输出。当色度信号进一步加强时，$V_B>4.3V$，此时钳位二极管 VD_1 通，B 点电位钳位于 4.3V，使 VT_2 稳定工作；当 $V_B=V_{ACK}<2.7V$ 时，C_1 上充的电压较低，$V_B<2.7V$，因为 $V_E=2V$，所以 $V_{bez}<0.7V$，NPN 型的 VT_2 得不到所需的正向偏置电压而截止，将色度通道关闭。调节 R_4 的阻值可以调节消色电平的大小。

（3）梳状滤波器

色度信号通过处理与放大，得到了具有一定幅度的色度信号 F，F 信号中包含着正交平衡调幅的两个色差信号（此时这两个信号还混合在一起），梳状滤波器的作用，就是利用两个色差信号在调制时互相正交（即相差 90°）的特性，把两个平衡调幅的

色差信号分开，再分别送到两个相应的同步检波器中去解调，以便得到 $R-Y$、$B-Y$ 两个色差信号。

梳状滤波器由超声延时线（63.943μs 延时线）与加法器、减法器组成，如图 12－67 所示。

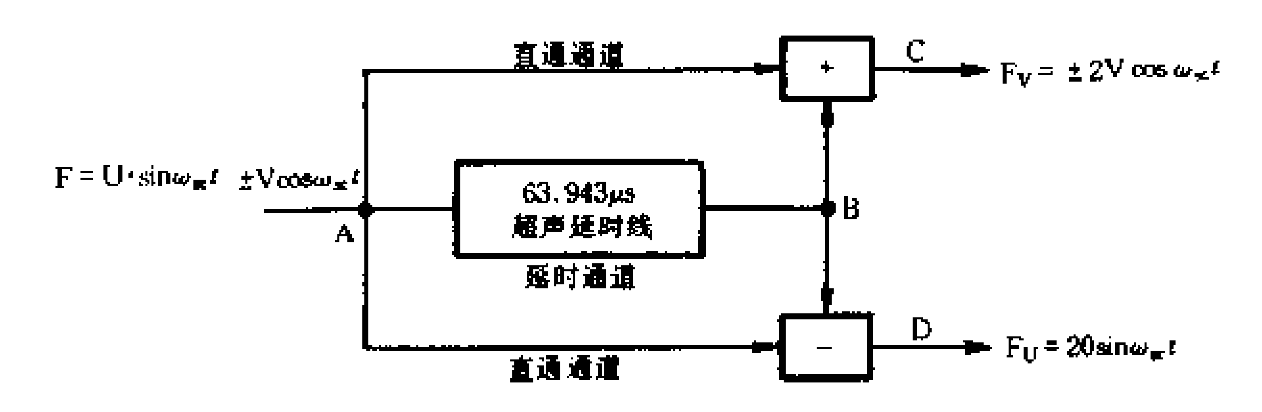
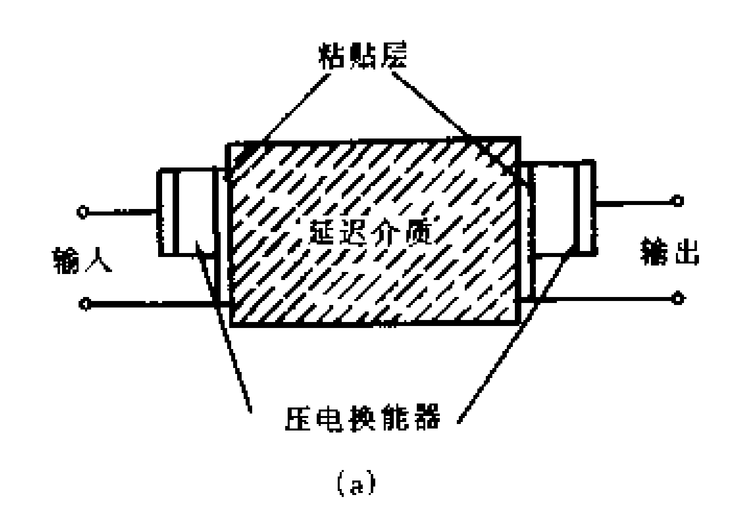


图 12－67　梳状滤波器的组成

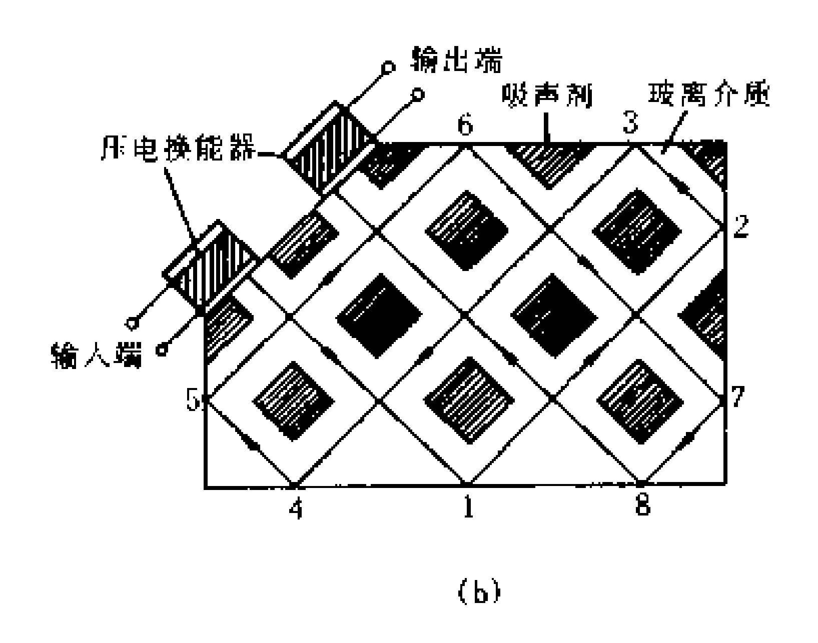
在梳状滤波器中，最关键的部件就是超声延时线。超声延时线由玻璃介质和换能器组成。若利用 LC 网络产生 63.943μs 延时是非常困难的，只有采用电声转换的方法，把电信号变成超声波信号，利用超声波在玻璃介质中传播速度慢（约 2.8×10^3m/s）的特点，使信号在较短的介质中达到 63.943μs 的延时，超声延时线的结构如图 12－68 所示。

在图 12－68(a)中，输入与输出为压电换能器，在输入端为电—声变换，在输出端为声—电变换。在玻璃介质中，声波延时 63.943μs，长度应为 172.6461mm，假如采用玻璃棒，这样长的长度使用不方便，为了缩小体积，采用了图 12－68(b)的方式，利用声波在玻璃介质中多次反射的办法来缩小体积，达到延时的要求。在声波传播途中，加有吸声材料的隔离，避免造成互相干扰。

为了说明梳状滤波器的工作原理，首先分析色度信号 F 的组成，因为两个色差均调制在色副载波 f_{sc} 上，f_{sc} 是一个正弦信号，我们是以 U 信号为基准的（U 为 0°），在 PAL 制中 V 信号每



(a)



(b)

图 12-68　超生延时线

行倒相一次,用公式表示 F 为

$$F = U\sin\omega_{sc}t \pm V\cos\omega_{sc}t$$

即假如某一行是

$$U\sin\omega_{sc}t + V\cos\omega_{sc}t$$

则下一行为

$$U\sin\omega_{sc}t - V\cos\omega_{sc}t$$

式中的加、减号相反，每行倒相一次。

从上两式可以看出，把相邻的两行信号相加或相减，就可以得到 F_U 与 F_V 信号。但是两行信号的相加减必须同时进行，为此，把上一行信号延时一行时间再与下一行相加减，就可以实现解调。

首先计算 PAL 制副载波的精确频率

$$f_{sc}=(283+\frac{3}{4})f_H+\frac{1}{2}f_V=(283+\frac{3}{4})f_H+\frac{1}{625}f_H$$

式中 $f_H=\frac{625}{2}f_V$

也可写成

$$\frac{1}{T_{sc}}=(283+\frac{3}{4})\frac{1}{T_H}+\frac{1}{625}+\frac{1}{T_H}$$

因为 $f_{sc}=\frac{1}{T_{sc}},f_H=\frac{1}{T_H}$

可以得出

$$T_H=(283+\frac{3}{4})T_S+\frac{1}{625}T_H=283.7516T_{sc}$$

延时时间可以取副载波 f_{sc} 半周期的 567 倍（反相），也可以是 568 倍（同相）。一般取 567 倍，所以延时时间为

$$567\times\frac{T_{SC}}{2}=283.5\ T_S=283.5\times\frac{1}{4.43361875}=63.94325\mu s$$

因为取反相相加，所以

$$2F_V=\pm 2V\cos\omega_{sc}t$$

反向相减，则

$$2F_U=2U\sin\omega_{sc}t$$

设第 n 行

$$U\sin\omega_{sc}t+V\cos\omega_{sc}t$$

$n+1$ 行

$$U\sin\omega_{sc}t - V\cos\omega_{sc}t$$

$n+2$ 行

$$U\sin\omega_{sc}t + V\cos\omega_{sc}t$$

把第 n 行延时与第 $n+1$ 行相加，因为第 n 行延时后取的 f_{sc}半周期的 567 倍（反相），所以第 n 行延时后为 $-U\sin\omega_{sc}t-V\cos\omega_{sc}t$ 再与 $n+1$ 行相加为

$$-U\sin\omega_{sc}t - V\cos\omega_{sc}t + U\sin\omega_{sc}t - V\cos\omega_{sc}t = -2V\cos\omega_{sc}t$$

在 $n+2$ 行时，$n+1$ 行延时反相后为

$$-U\sin\omega_{sc}t + V\cos\omega_{sc}t$$

与 $n+2$ 行直通信号 $U\sin\omega_{sc}t+V\cos\omega_{sc}t$ 相加为 $2V\cos\omega_{sc}t$。所以在加法器输出端得到

$$\pm 2V\cos\omega_{sc}t$$

同理，把二者相减后得到 $2U\sin\omega_{sc}t$。所以在图 12－66 中，在加法器输出端得到 $\pm 2V\cos\omega_{sc}t$，在减法器得到 $2U\sin\omega_{sc}t$。

为了形象地表示出梳状滤波器的特性，在图 12－69 中，画出了 F 信号的频谱与加、减法器的传输特性以及滤出的频谱。

梳状滤波器的输入与相加器的输出共同形成的频率特性曲线如图 12－69(b)所示。在与 V 信号对应处，加法器输出最高，与 U 相对处，输出最小。所以图 12－69(d)是加法器输出的 V 信号而不含 U 信号；相似地在减法器图 12－69(c)的频率特性下，输出信号如图 12－69(e)所示，只有 U 信号，滤去了 V 信号。通过梳状滤波器的分离，U 与 V 信号被分开。

图 12－70 是色度信号的处理电路。从第⑧脚输出的 F 色度信号，作为直通信号直接输入到第⑰脚。第⑧脚的色度信号

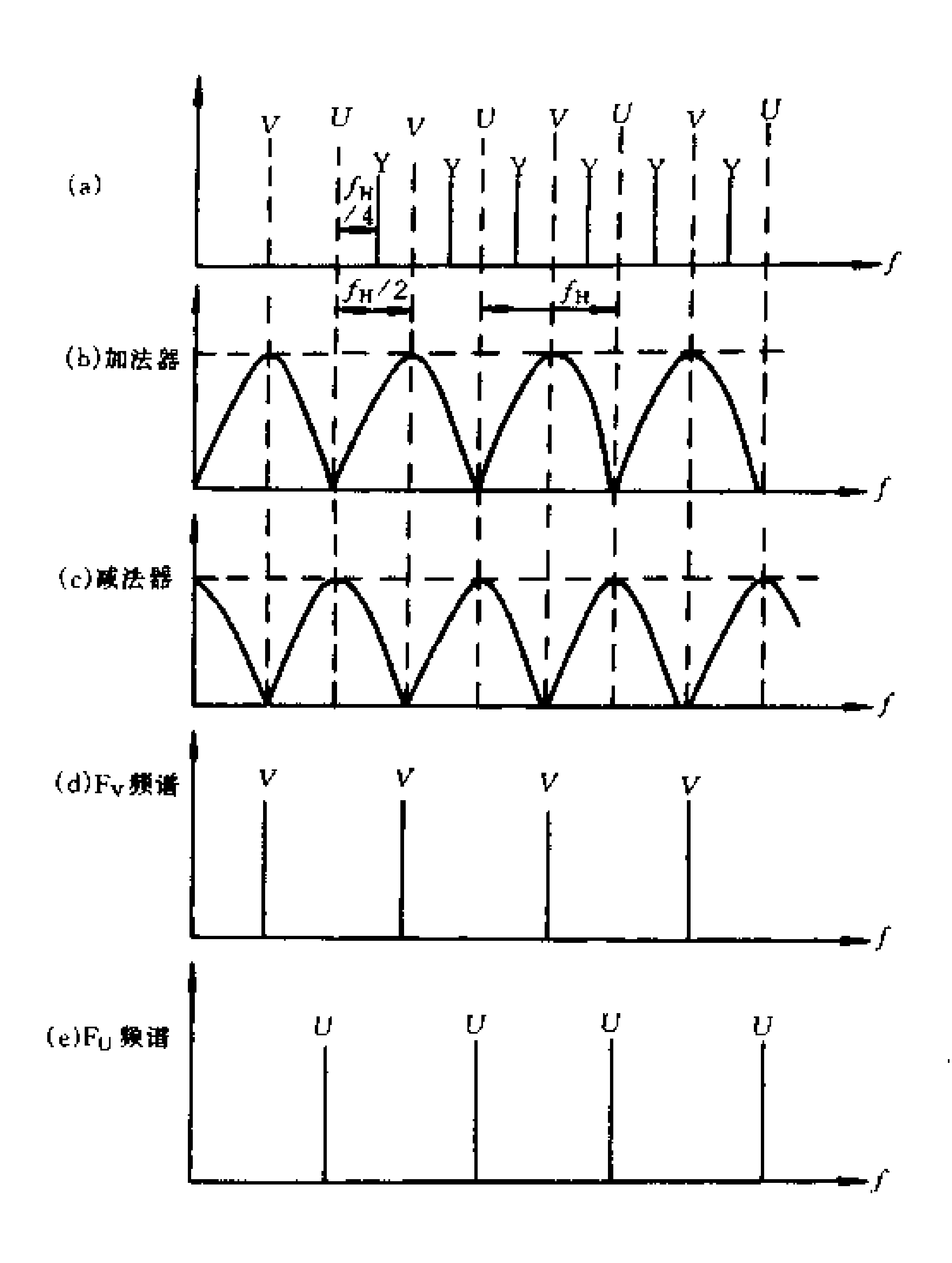


图 12-69 梳状滤波器的频率特性与色度信号的分离

同时送到色度延时线(63.943μs),经延时的信号送到第⑲脚。在解调器中完成 U、V 信号分离及同步检波,得到 R-Y、B-Y 两个色差信号,同时合成 G-Y 信号。

(4) 平衡调幅的解调电路——同步检波器

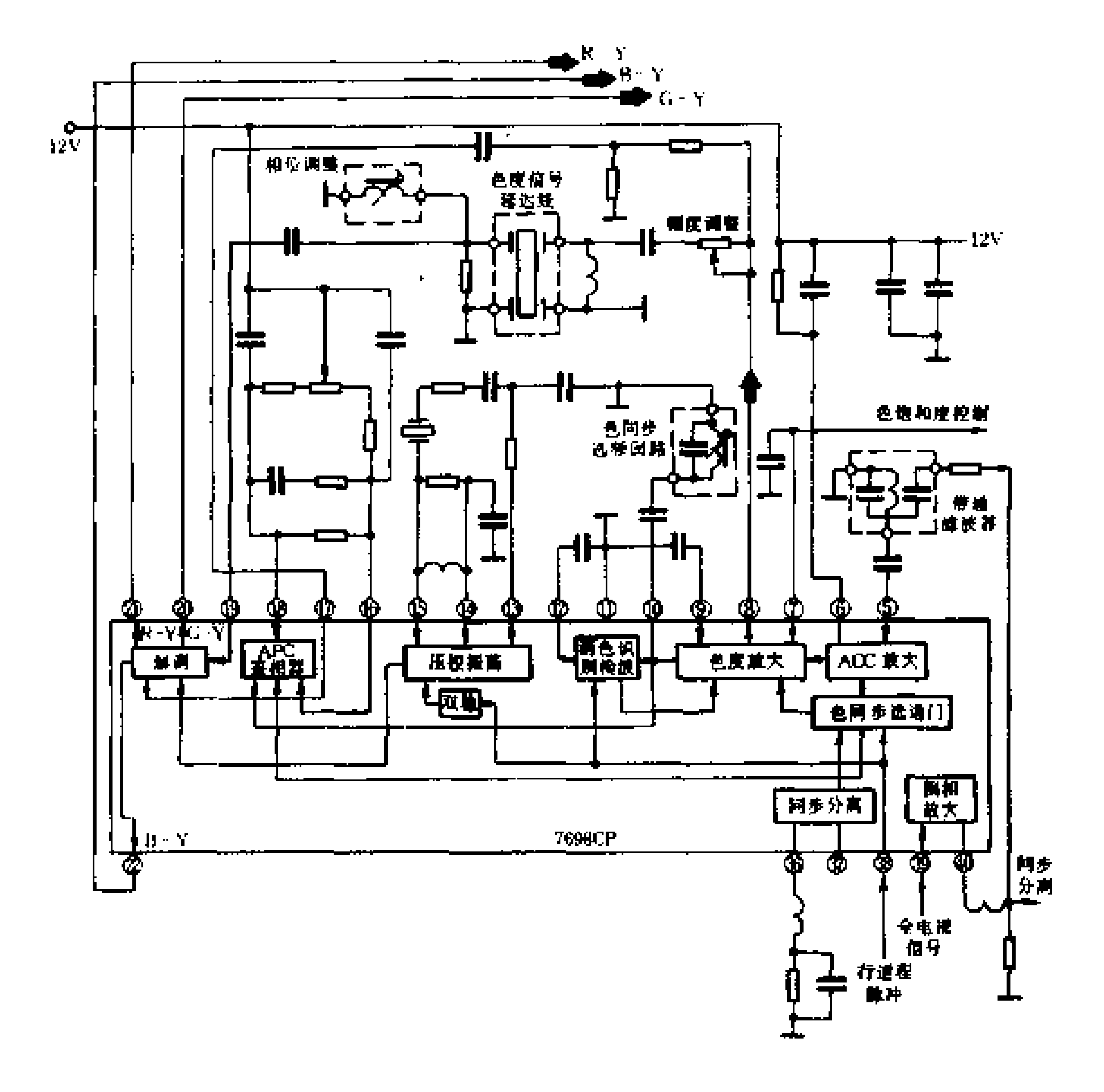


图 12－70　色度信号处理电路

梳状滤波器滤出的两个色度分量 U 与 V 都是平衡调幅信号。因为它的包络不含有调制信号，所以用峰值检波方式无法得到原来的色差调制信号，只有采用乘法器（即同步检波器）才能完成这一任务。图 12－71 为 PAL 制色度信号处理集成电路内的同步检波电路。

设色度信号 U 是一个低频正弦信号，它的角频率为 Ω，调制角频率为 ω_{sc} 的副载波上，则 U 信号

$$u(t) = U\cos\Omega t \cdot \cos\omega_{sc} t$$

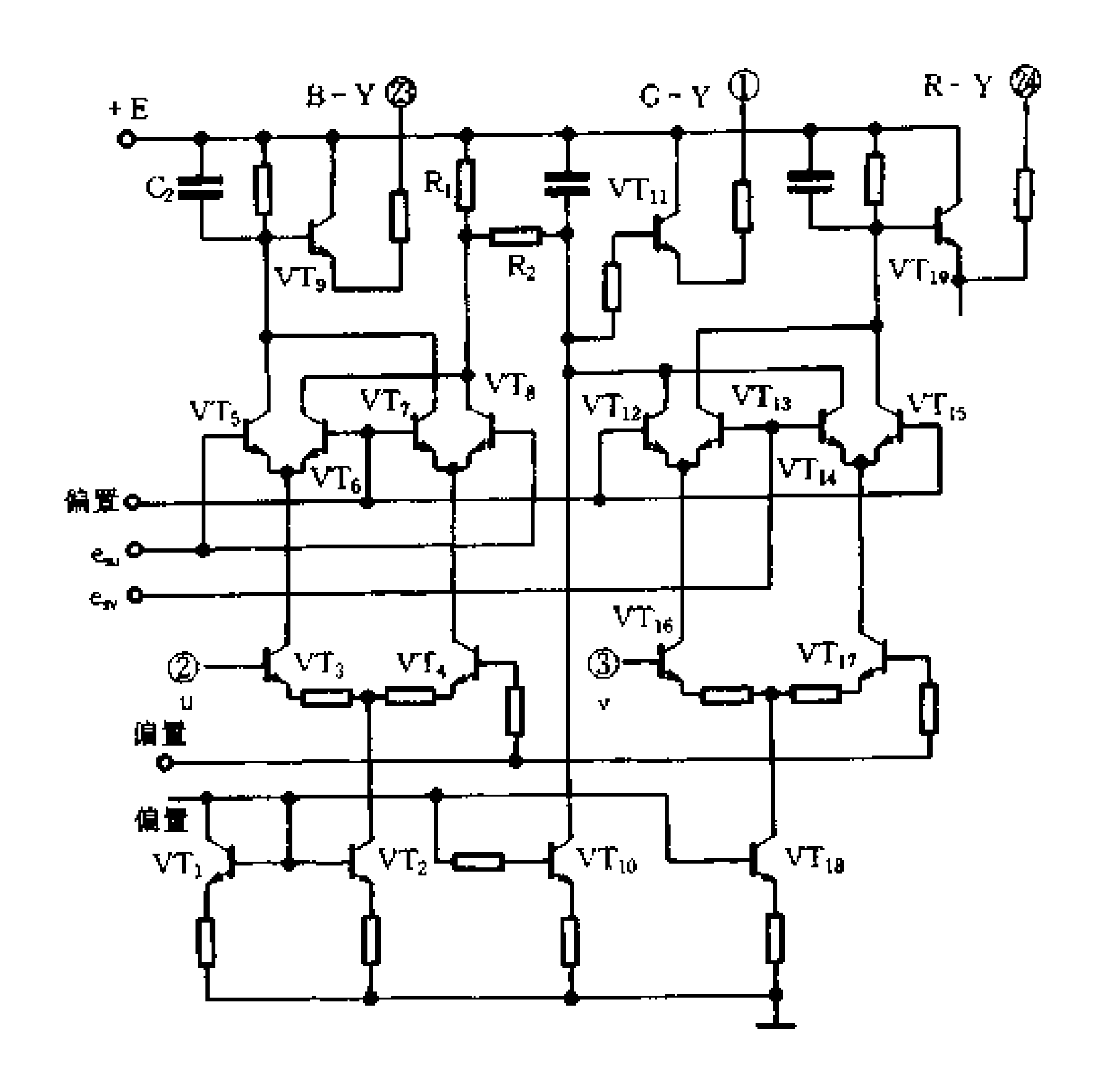


图 12－71 同步检波器电路

与其相乘的副载波角频率为 ω_{sc}，这个副载波表示式为

$$u_{sc}(t)=E\cdot\cos\omega_{sc}t$$

E 为这个副载波的振幅，它们的乘积为

$$u_o(t)=E\cdot U\cdot\cos\Omega t\cdot\cos\omega_{sc}t\cdot\cos\omega_{sc}t$$

由三角函数公式可知，$u_o(t)=\frac{1}{2}E\cdot U\cdot\cos\Omega\cdot\cos2\omega_{sc}t$ 在输出信号中，用低通滤波器滤出所需的 $\cos\Omega t$ 成份，就得到了 $\frac{1}{2}E\cdot U\cos\Omega t$ 的色差信号(B－Y)。

在图 12－71 所示的同步检波器电路中，u 信号由②脚输

入；v 信号由③脚输入，与之相乘的副载波 e_{su}信号接入 VT_5、VT_8的基极；e_{sv}接入 VT_{13}、VT_{14}的基极。它们的幅度不同，U、V 色度分量幅度小，所以加在差动放大器上，放大器工作于放大状态；而 e_{su}、e_{sv}幅度很大，加在差动对管上以后，使差动对管工作于开关状态。为了说明同步检波工作过程，以 U 信号为例，绘于图 12－72中。

对照电原理图与波形图分析，在 $0\sim t_1$ 时间内，副载波 e_{su}与色度信号 U 同相位，当 e_{su}与 U 信号同为正半周时，VT_5、VT_8导通，VT_3 也导通，所以 VT_5 集电极输出为负；当 U 信号与 e_{su}同时为负时，虽然 VT_5、VT_8、VT_3 截止，但 VT_4、VT_6、VT_7 导通，在 VT_5 的集电极输出仍然为负（见图 12－72）。在 $t_1\sim t_2$ 时间内，u 信号突然改变相位，这是因为调制信号改变了极性，导致在 $t_1\sim t_2$ 时间内，u 信号与 e_{su}副载波信号反相，即当 u 为正时，e_{su}为负。这两个极性相反的信号加在 VT_3、VT_5、VT_8 的基极上，当 u 为正时，VT_3 导通，但 VT_5、VT_8 基极所加 e_{su}为负，VT_5、VT_8 断开，VT_6、VT_7 导通，但 VT_7 虽然并接到输出端，但它的发射极未与 VT_3 相接，而是与截止的 VT_4 相接，VT_6 发射极虽与 VT_3 相接，但它的集电极并未接在 VT_5 集电极的输出端，所以从 VT_5 集电极到地之间为断路，输出为高电位（见图 12－72 中 B－Y 在 $t_1\sim t_2$ 时间的波形），依此类推，可获得完整的 B－Y 波形。按此分析，V 信号的检波过程也完全一样，因而在 VT_{15}集电极得到 R－Y 色差信号。通过 R_1、R_2 电阻网络，可由 R－Y 与 B－Y 得到 G－Y，经 VT_{11}射随器在第①脚输出。B－Y、R－Y 则由射随器 VT_9、VT_{19}在㉓、㉔脚输出。

3. 色副载波的恢复电路

电视台在发射彩色信号时，副载波是被抑制掉的，只传送它的边带波。因为副载波本身不包含电视信号内容，电视信号只

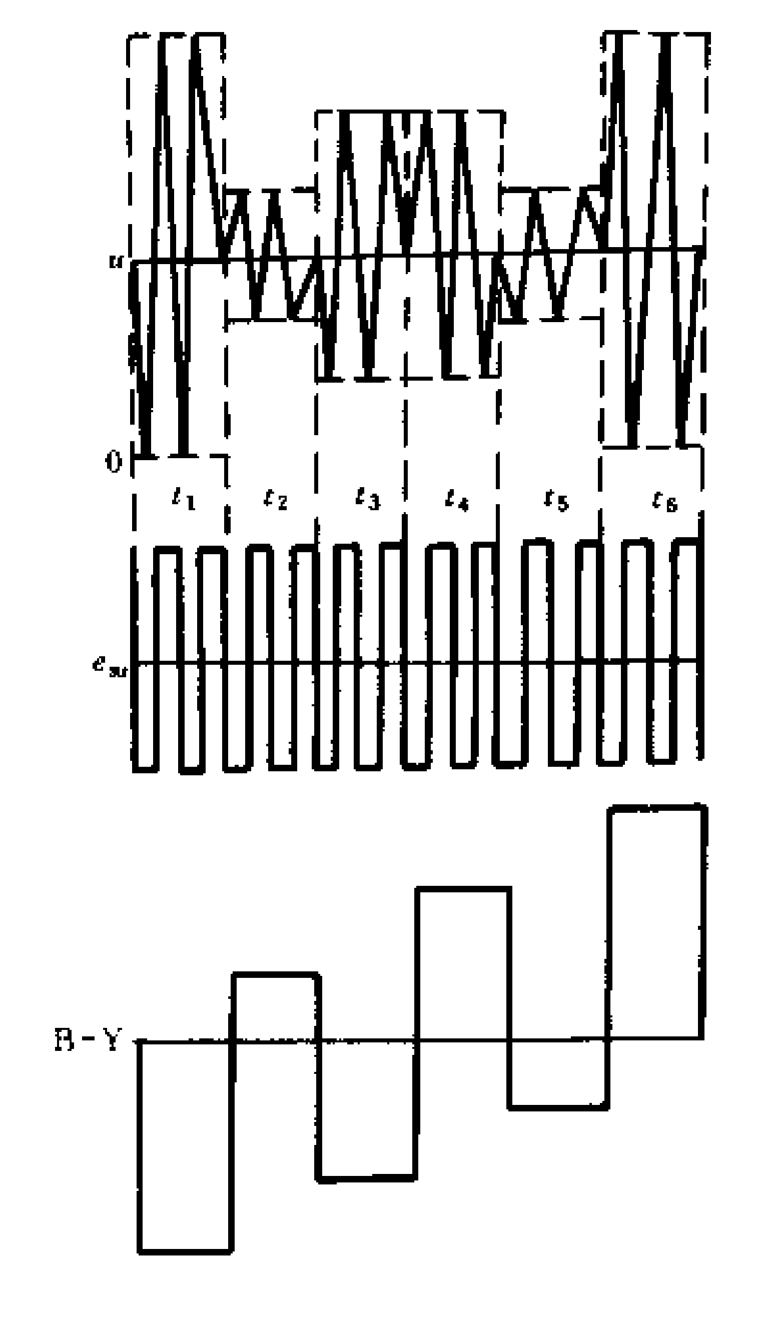


图 12-72　U 信号同步检波过程

包含在其边带波内，这就避免了不必要的能量浪费。在电视接收机中，为了能把彩色信号解调出来，又必须恢复副载波，并进行必要的处理，因此设置了副载波恢复和处理电路。

色副载波恢复电路由色同步选通电路、副载波压控振荡器、鉴相器、PAL 开关、识别电路等组成。它们的作用是为同步检波器提供副载波并为 APC、ACC、ACK 电路提供反映色度信号强弱的半行频识别信号。

(1) 色同步选通电路

色同步选通电路是把带通放大器送来的色度信号中的色同步信号取出来。取色同步信号要分析其特点,色同步脉冲是在行同步脉冲、行消隐脉冲的后肩上,可参见图 12－25。因为行同步脉冲幅度最高,色同步脉冲在其后,利用把行同步脉冲延迟,与色同步脉冲对准,以便用延迟的行同步脉冲作为色同步的选通信号去控制一个门电路,在色同步到来时把门电路打开,放入色同步信号,其它时间无选通脉冲,所以不会放入任何信号,其原理如图 12－73 所示。延时元件用 LC 网络,延迟时间 $t = 4.35\mu s$。

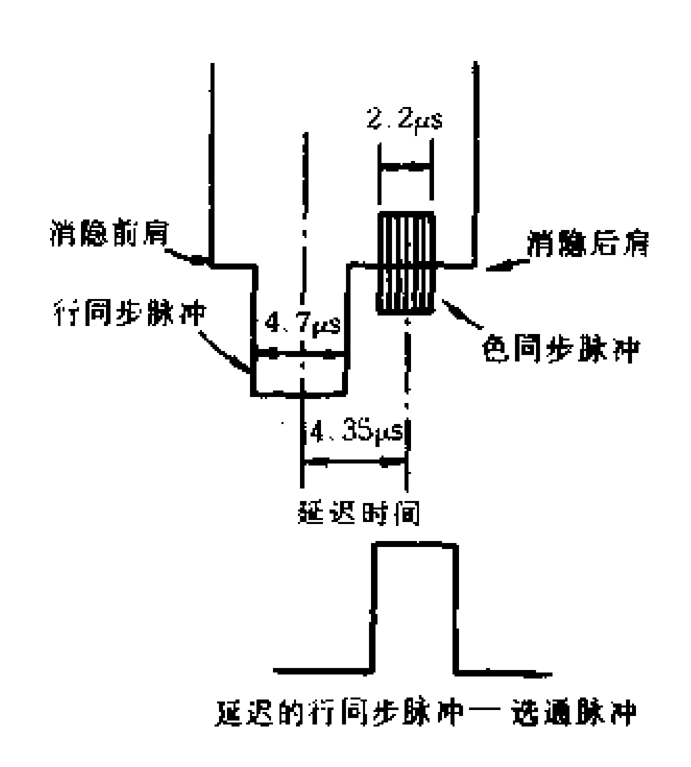


图 12－73　延时的行同步脉冲

行同步脉冲宽度为 $4.7\mu s$，色同步脉冲宽度为 $2.2\mu s$，经延迟 $4.35\mu s$ 后，行同步与色同步对齐，具体电路如图 12－74 所示。

图中,由 LC 延时网络、晶体管 VT 与双调谐回路 L_1C_1、L_2C_2

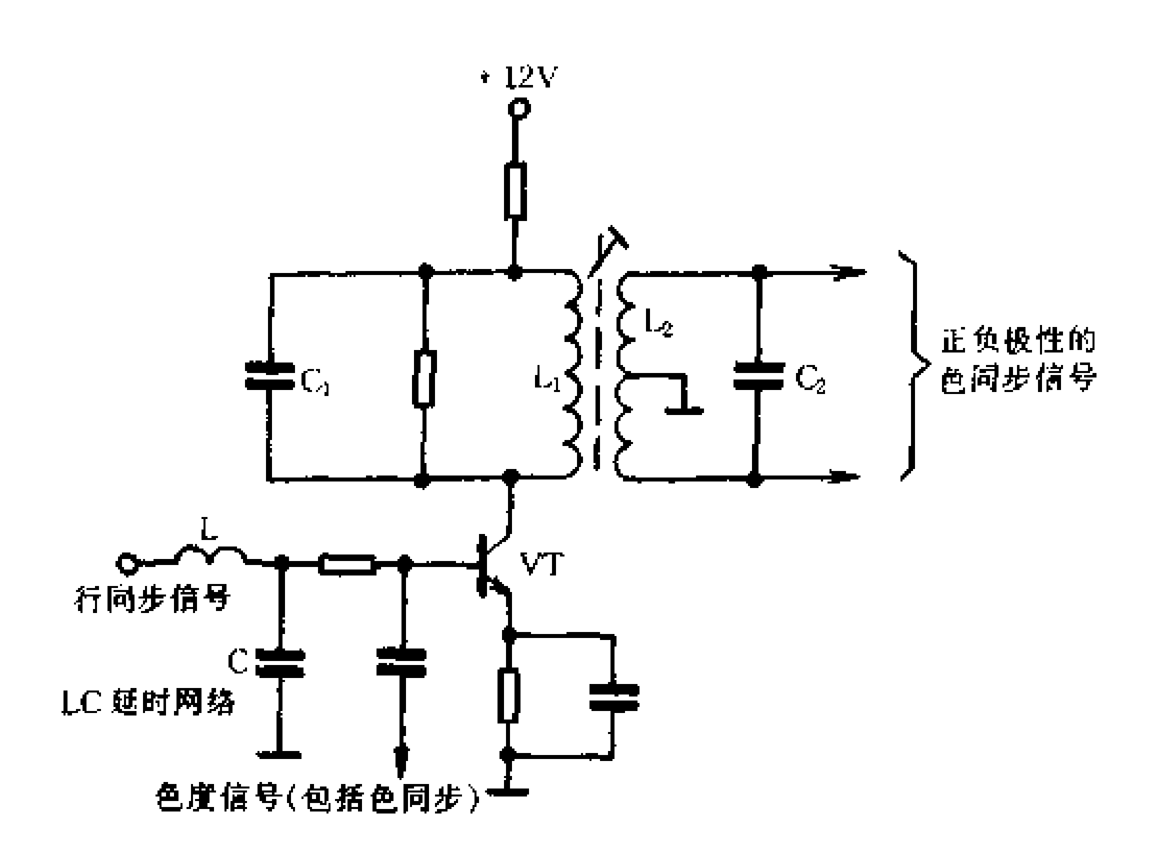


图 12-74 色同步选通电路

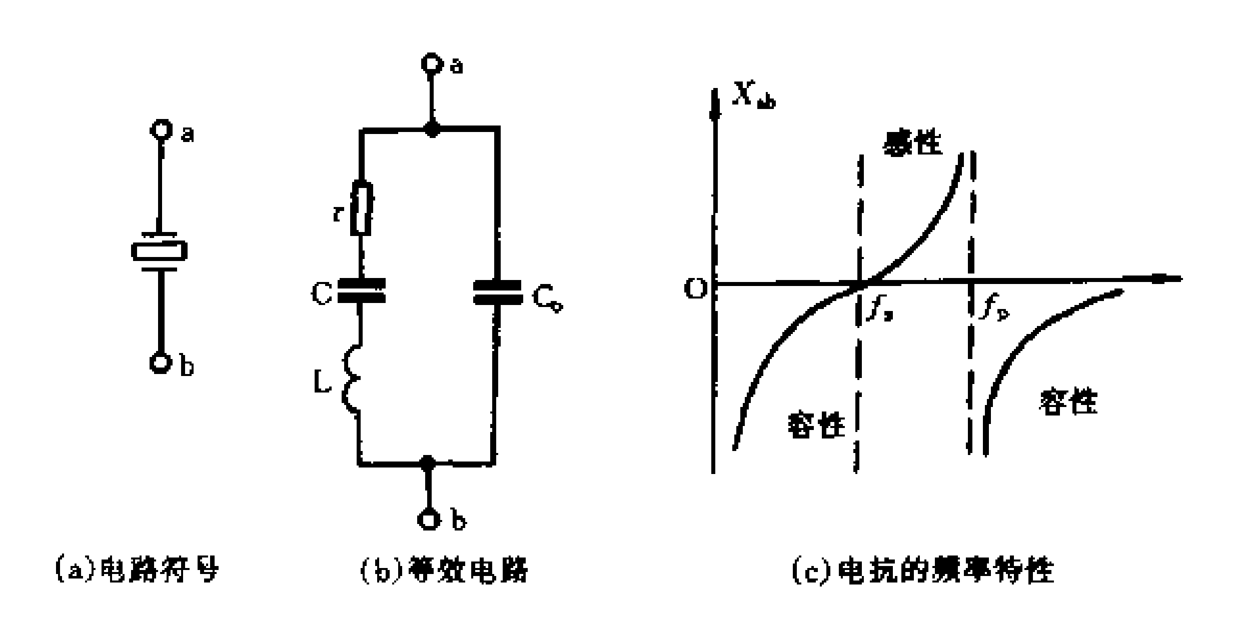
组成色同步选通放大器。双调谐回路调谐于 4.43MHz。在晶体管 VT 基极加入带有色同步的色度信号，同时加入经 LC 延时的行同步信号，因为 VT 为 NPN 管，基极加入延迟后的正极性行同步脉冲，只有在行同步脉冲到来时，VT 才导通，让色同步信号进入并放大，从 L_2 两端输出。

(2) 电压控制的副载波振荡器

在色度解码电路 TA7698CP 中，包含着压控晶体振荡器的电路，由于结构复杂，不易理解，我们用分立元件电路进行分析。

由于色副载波的频率与相位都要求十分精确，否则色度信号的解调会产生失真，造成色彩混乱，所以保证色副载波振荡电路精确、稳定地进行工作十分重要。它的振荡频率为 4.43361875MHz，频率稳定度要达到 10^{-5}。采用压控晶振，频率稳定度可高达 10^{-6} ~ 10^{-7}，完全可以满足要求。

图 12－75 为稳频用晶体，图 12－75(a)为它的电路符号，与陶瓷滤波器相同，图 12－75(b)为其等效电路；图 12－75(c)是晶体的频率特性。

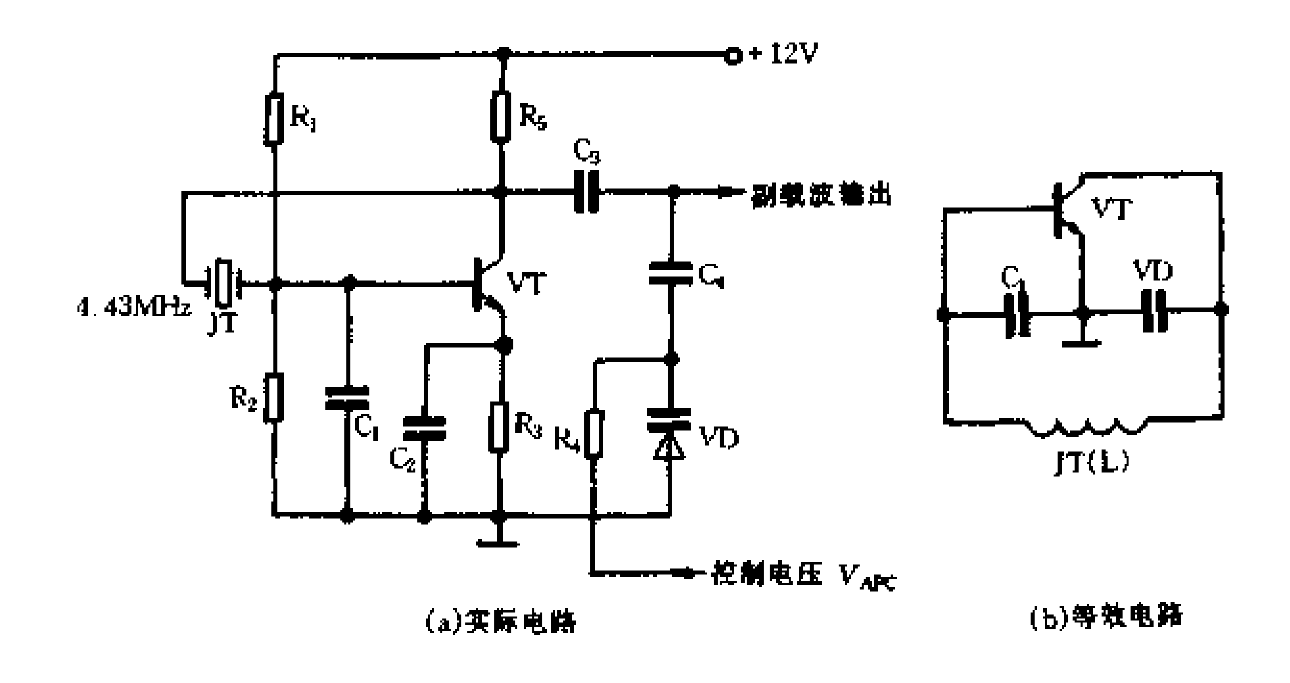


(a)电路符号　(b)等效电路　(c)电抗的频率特性

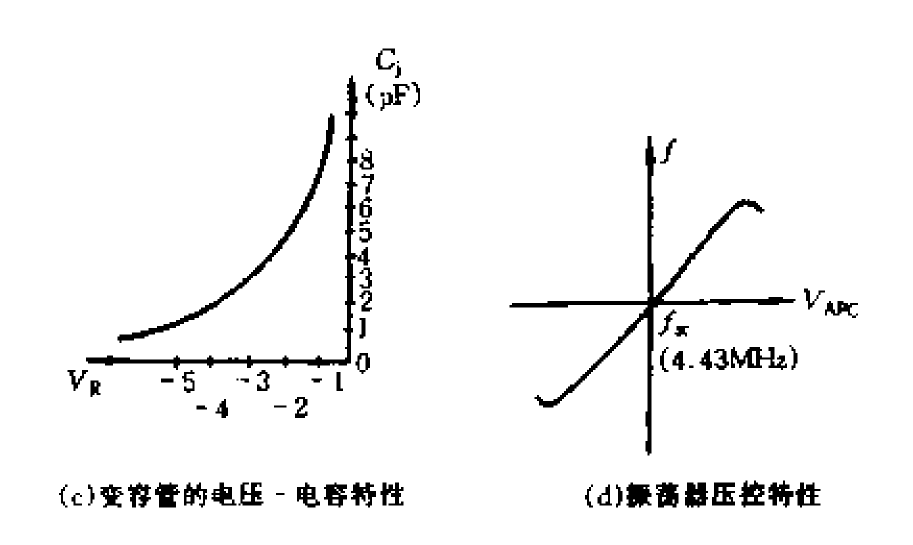
图 12－75　晶体的等效电路及电抗的频率特性

晶体是由石英晶体切成薄片做成的，在晶体的两面镀上导电的银层作为电极，并引出接线，由两面电极形成的电容为静态电容 C_0，晶体可以等效为一个 LCR 的串联谐振电路，并与 C_0 形成并联谐振，所以在频率特性曲线上有两个谐振点 f_s(串联谐振点)与 f_p(并联谐振点)，在 f_s 与 f_p 之间晶体呈现电感特性，在低于 f_c 与高于 f_p 的频率范围内，晶体呈现为电容特性；在 f_s 点晶体阻抗为零，实际上存在一个小阻值电阻 γ；在 f_p 点晶体阻抗为无穷大。在用晶体稳频的电路中，应该使晶体工作于感性区域，才能发挥稳频作用。

实际的晶体稳频的压控振荡器电路如图 12－76 所示。这是一个电容三点式振荡器，变容二极管 VD 作为其中一个调谐电容，当改变变容二极管上的反向偏电压时，变容管容量也随之发生变化，从而引起振荡频率的变化，所以称为压控振荡器。为



(a)实际电路　　(b)等效电路



(c)变容管的电压-电容特性　　(d)振荡器压控特性

图 12-76　晶体稳频压控振荡器

了更好的理解其工作原理，把图 12-76(a)实际电路改画为图 12-76(b)的交流等效电路。画交流等效电路的原则是：电源的正、负对交流而言均为地；耦合电容、滤波电容均对交流短路，所以画成短接线；电阻视为开路；保留调谐线圈及调谐电容。因为晶体等效为电感，所以把晶体画为电感；变容管的作用为调谐电容，所以画成电容。根据交流等效电路就可以进行分析与计算。

图 12-76(b)是大家熟悉的典型电容三点式振荡电路，VD

是变容管，它的电压—电容特性曲线如图 12－76(c)所示。图中，反向偏压 V_R 越高，变容器的结电容 C_j 越小，振荡频率越高。电路的压控特性见图 12－76(d)。当 V_{APC}电压为某一值时，振荡频率为 f_{sc}(4.43MHz)，当 V_{APC}大于或小于这一值时，振荡频率 f 将偏离f_{sc}，产生的频率及相位偏差将反馈到鉴相器中，以电压 V_{APC}形式去控制振荡器，使振荡频率回到正确值。

(3) 副载波锁相环电路

副载波压控振荡器的振荡频率和相位要求具有很高的精度，仅仅用晶体稳频仍然达不到要求。要获得高稳定度的频率和准确的相位，还需要采用锁相环电路。锁相环电路由鉴相器、低通滤波器、压控振荡器与 90°移相器组成。由这个电路产生与发送端完全同频同相的副载波，并且产生与发送端同频同相的半行频方波，如图 12－77 是锁相环电路的框图。

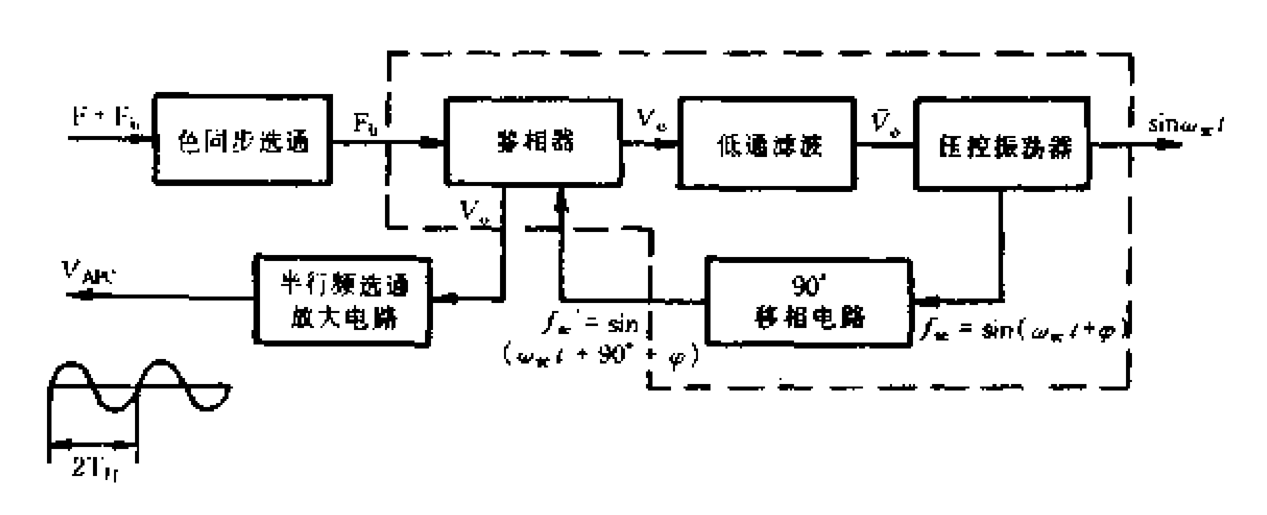


图 12－77 锁相环电路

由图可见，色度信号经过选通放大，只选出色度信号 F_b，把 F_b 送到鉴相器，与压控振荡器送来的经 90°移相的副载波进行相位比较。设副载波振荡输出的信号为 $f_{sc}=\sin(\omega_{sc}t+\phi)$，其中 ϕ 为偏离正常值的附加相位角。这个信号经过 90°移相电路

变为 $f'_{sc} = \sin(\omega_{sc}t + 90° + \phi)$。PAL 制色同步信号 $F_b = \frac{B}{2}\sin(\omega_{sc}t \pm 135°)$。

压控晶体振荡器产生的副载波经 90°移相后加在鉴相器中与色副载波信号进行比较，输出一个误差电压 V_0。二者比较时有三种情况：当压控振荡器产生的副载波 f_{sc} 与发送端同频同相时（$\phi = 0, f_{sc} = \sin\omega_{sc}t$）经 90°移相送入鉴相器的信号为 $f_{sc} = \sin(\omega_{sc}t + 90°) = \cos\omega_{sc}t$，，这个信号与色同步信号在鉴相器中进行比较，如图 12－78(a)所示。

在图 12－78(a)中为鉴相器对二者的比较，在图 12－78(h)中，比较后的输出 V_0 是一个正负半周相等的方波，且周期是行频周期 T_H 的 2 倍，即 $2T_H$，所以是一个半行频方波 $f_H/2$（约为 7.8kHz）；这样一个正负半周相等的方波经低通滤波后，加在压控振荡器上的电压为一直流 $\bar{V}_0$，此时 $\bar{V}_0 = 0$，无误差电压。

在图 12－78(b)中，当副载波振荡器的振频率产生了附加相移 φ，且 φ>0 时，移相 90°后的 f sc（即 f'_{sc}）与色同步的比较如图 12－78(e)、(i)所示，此时 V_0 仍为一个半行频信号，但此时正半周幅度小、负半周幅度大，经低通滤波后的误差电压 $\bar{V}_0 < 0$；当附加相位 $\phi < 0$ 时，在鉴相器中比较的结果如图 12－78(f)、(j)所示，V_0 的正半周幅度大于负半周幅度，所以经低通滤波的误差电压 $\bar{V}_0 > 0$。可以想象，用 $\bar{V}_0$ 这个与相位差成正比的误差电压去控制晶振电路中的变容管的容量，可以微调其相位，使其相位跟随电视台副载波的相位，并使误差达到最小。

由图中可以看出，鉴相器的输出可以识别 PAL 与 NTSC 行的半行频信号，把这个 7.8kHz 的半行频放大，获得 ARC、ACC、ACK 及 PAL 识别电路的半行频正弦识别信号 V_{APC}。当色度信号弱时，色同步信号也弱，鉴相器输出的半行频方波识别信号

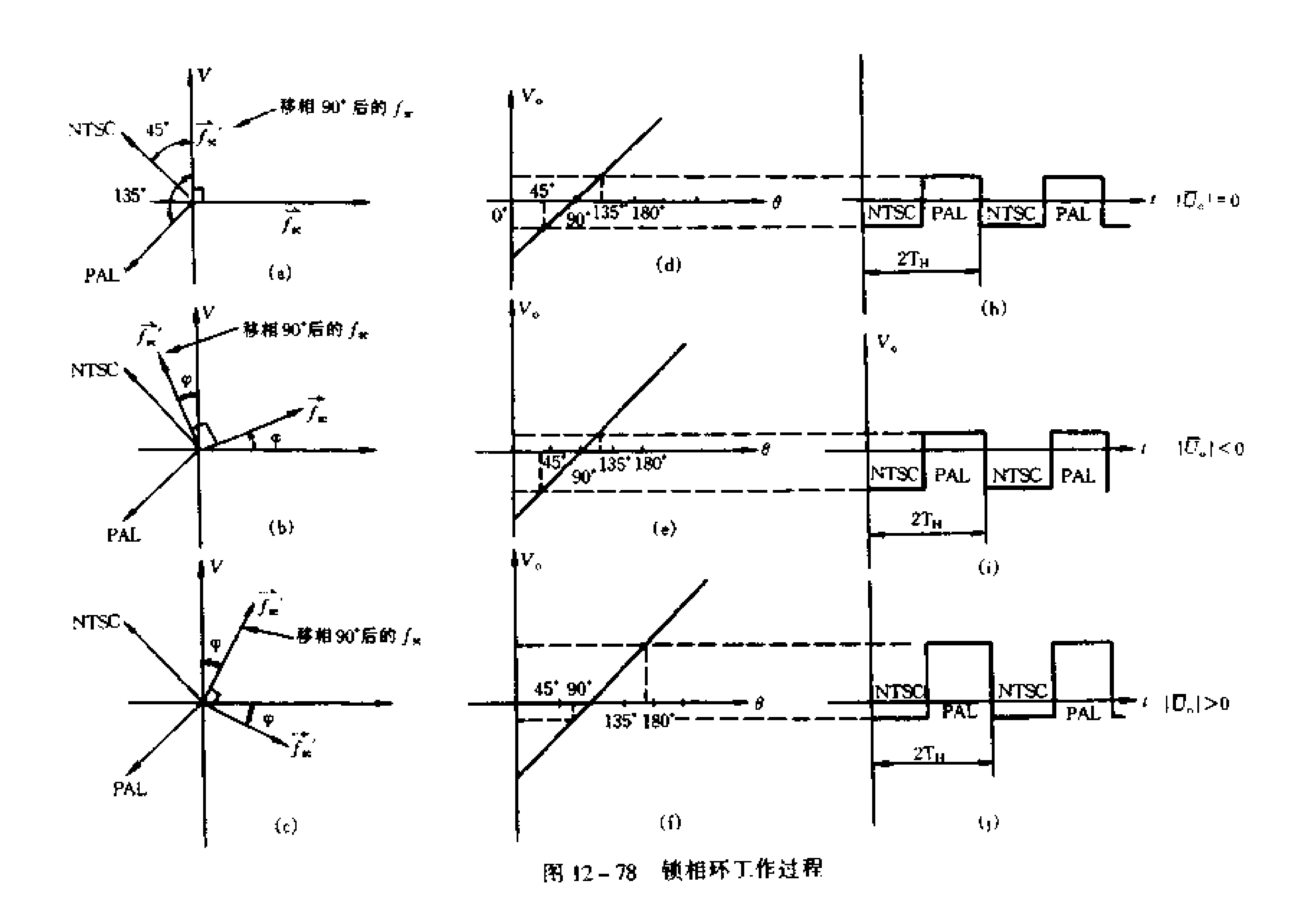


图 12-78 锁相环工作过程

V_0 幅度变小，经过半行频选频放大器输出的半行频正弦波识别信号 V_{APC} 的幅度也小。显然，V_{APC} 的大小可以反映色度信号的强弱。

4. PAL 开关电路和识别电路

如上所述，副载波振荡器在锁相的情况下可以得到相位为0°的基准副载波供给蓝色差同步检波器；而红色差同步检波则要求根据原红色差信号是否倒相，提供相位为90°或270°的副载波以解调出原信号。也就是说，解调副载波要逐行倒相，且与发射端调制时一致，以便恢复 R－Y 色差信号（红色差信号）的原相位，这一工作是由 PAL 开关承担的。

（1）PAL 开关电器的工作原理

PAL 开关电路如图 12－79 所示。图中变压器 T_1 的输入端输入0°副载波，次级中点接地，线圈 L_2 两端分别产生0°和180°的副载波。如令二极管 VD_1、VD_2 轮流导通，且各导通一行时间，则输出信号 V_{SC} 将是0°/180°逐行倒相的副载波。那么，怎样才能控制两个二极管的导通与截止，使输出信号 V_{SC} 在发送端为不倒相，PAL 开关电路输出0°副载波（经90°移相电路后成为90°副载波），而发送端为倒相行时，PAL 开关电路输出180°副载波（经90°移相电路后成为270°副载波）。为此，在两个二极管正极分别加入反相的半行频方波，方波宽度为一行时间，且加入 VD_1 的方波正脉冲对应 P 行（倒相行）；而加至 VD_2 的方波正脉冲对应 N 行。这样，在倒相的一行，VD_1 导通，PAL 开关输出180°副载波（移相后为270°），在不倒相行，VD_2 导通，PAL 开关输出0°副载波（移相后为90°），这就得到了与发送端对应的逐行倒相副载波90°/270°，以供红色差同步解调用。

（2）PAL 识别电路

PAL 识别电路是为了给 PAL 开关提供半行频识别信号，以

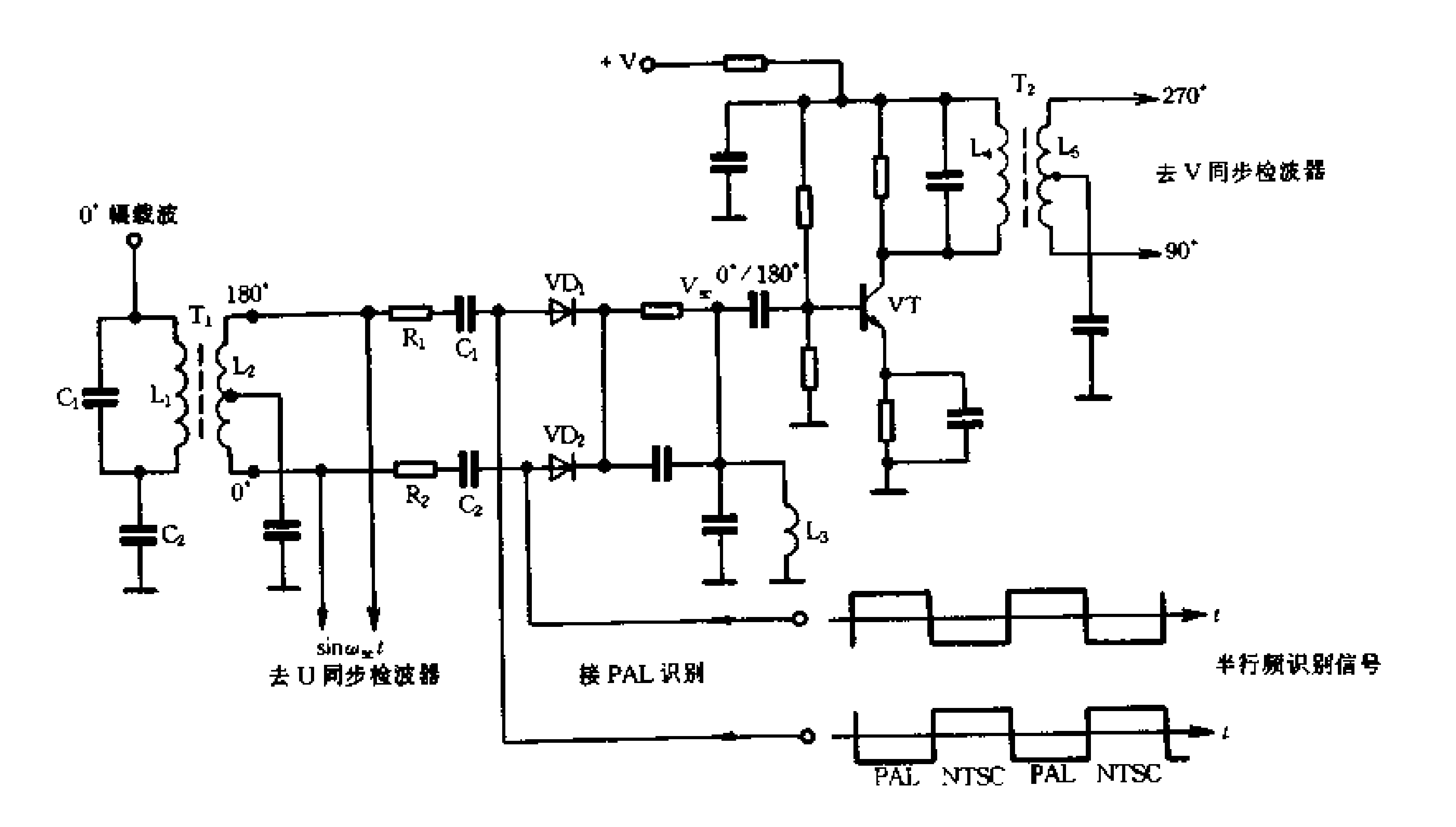


图 12－79　PAL 开关及 90°移相电路

便使 PAL 开关电路中的两个二极管 VD_1、VD_2 轮流导通，给红色差同步检波器提供正确相位的副载波。PAL 识别电路是由图 12－80 所示的双稳态电路产生的。

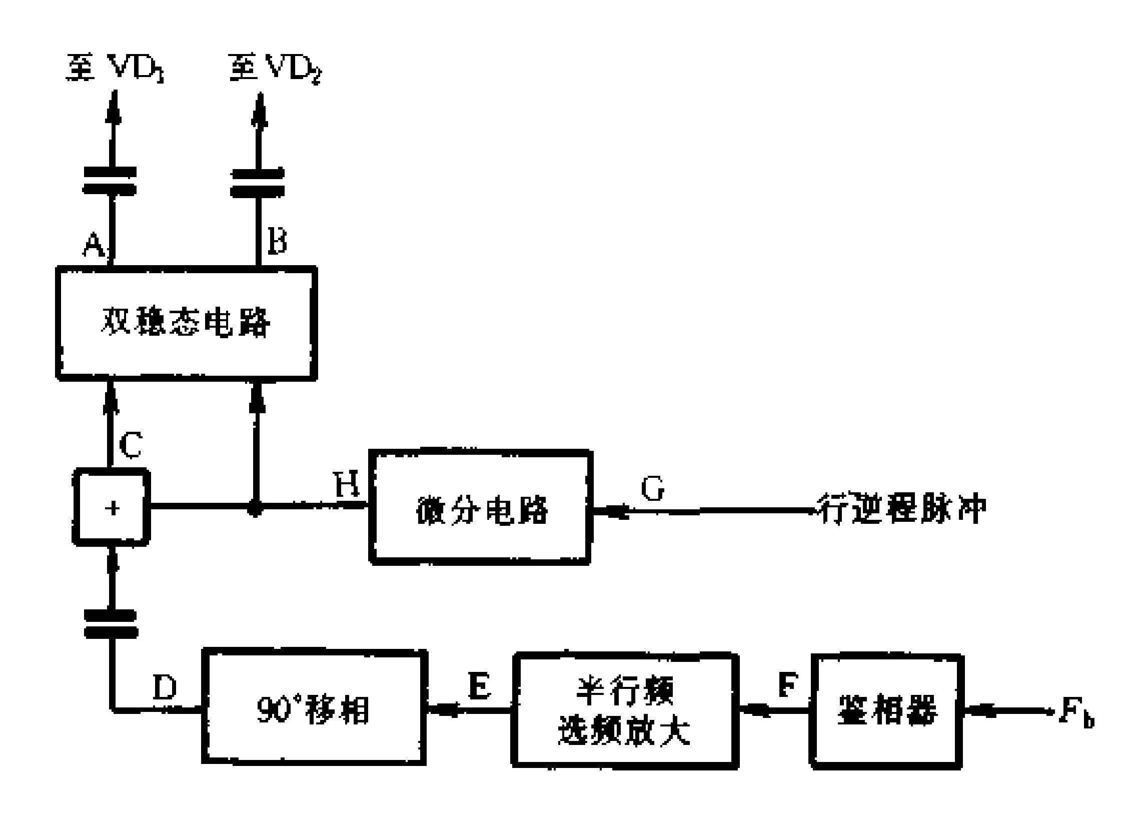


图 12－80　PAL 识别信号的形成

由图 12－80 可见，双稳态电路有两个输出端 A 和 B，当其中一个为高电位时，另一个必然为低电位。电路状态的转换，需要在它的输入端外加触发脉冲。双稳态电路的两个输出端分别接到 PAL 开关电路中 VD_1、VD_2 的正极，使 VD_1、VD_2 交替导通与截止，以完成逐行倒相的任务。需要指出，双稳态电路的初始状态是不确定的，就是说，双稳态电路只输出行逆程脉冲后，虽然能使它每行翻转一次，并输出两路半行频方波，但该方波是不正确的，不能用以控制 PAL 开关的两个二极管，无法使 PAL 开关输出与发送相对应的副载波，而且行逆程脉冲与发送是否倒相毫无关系。

为了正确控制 PAL 开关的工作，又给双稳态电路输入了能

判别发送端信号是否倒相的识别信号。前面曾经叙述，鉴相器输出的信号在低通滤波之前是 7.8kHz 的脉冲，而且7.8kHz 信号为正值时对应 P 行，为负值时对应 N 行，可以作为判断发送端是否倒相的识别信号。但是，鉴相器输出的 7.8kHz 信号只有几十毫伏，还必须经过放大后才能推动双稳态电路迅速翻转(约需 20V)；而且，7.8kHz 信号在与行逆程脉冲的对应处又正是由正变负或由负变正的交替期，无法判断是否倒相行信号。为解决这两个问题，对鉴相器输出的 7.8kHz 信号，再进行半行频选频放大和 90°移相处理，一方面使其幅度增大，另一方面令其正负最大值(代表发送端信号是否倒相)与行逆程脉冲相对应。图 12－81 绘出了图 12－80 中各点的波形，图中对应色同步信号分别画出了7.8kHz 信号波形、行逆程脉冲波形、经 90°移相后的 7.8kHz 信号波形、行逆程脉冲经微分电路微分后的波形和移相 90°后的 7.8kHz 信号与微分行逆程脉冲的合成波形。

图 12－82 是一种实际的 PAL 识别电路、半行频选频放大和 90°移相电路的电原理图。图中，晶体管 VT_3、VT_4 组成双稳态电路，触发信号从两管的基极输入。从鉴相器送来的较弱的半行频信号[见图 12－81(b)]，被 VT_1、VT_2 选频放大以后，滤除了高次谐波，成为半行频正弦波[图 12－81(c)]、再经 L_1C_1、$R_{10}C_3$ 移相 90°，加到二极管 VD_1 上，经 VD_1 输入 VT_3 的基极。另外，行逆程脉冲经微分电路后，一路加在 VT_4 基极。另一路加在 VD_1 的正极，与移相 90°的半行频叠加[见图 12－81 中的(e)、(f)、(g)]。使 PAL 行尖脉冲叠加在正弦波正峰上，NTSC 行叠加在正弦波负峰上，这样，触发信号就会在 PAL 行时对 VT_3 触发，在 NTSC 行时对 VT_4 触发，达到了识别 PAL 与 NTSC 行的目的。此时，在 VT_3、VT_4 集电极各有一个输出去控制 PAL 开关。

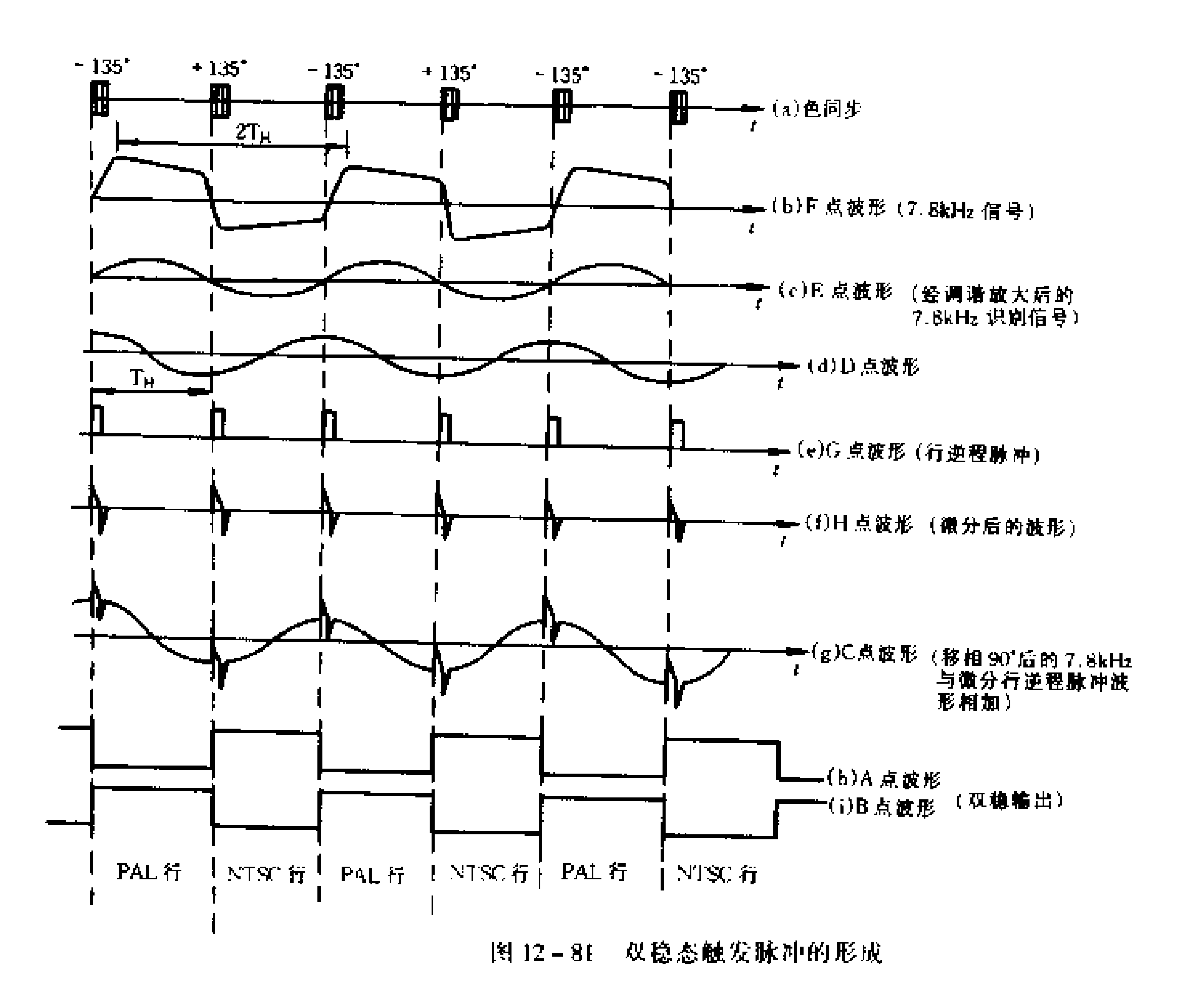


图12-81　双稳态触发脉冲的形成

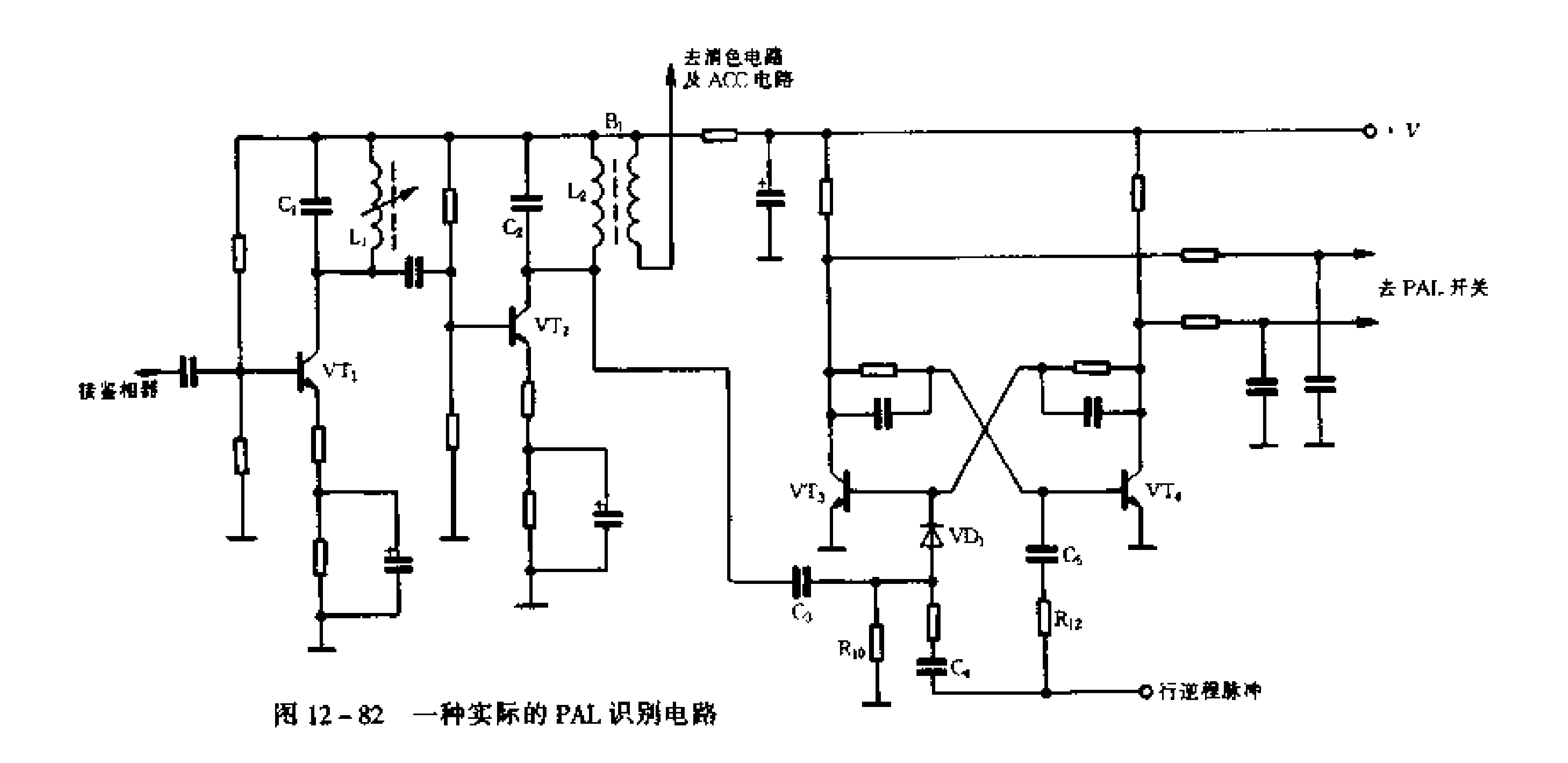


图12-82 一种实际的PAL识别电路

五、扫描电路

电视接收机荧光屏上图像的形成是依靠显像管中电子束的偏转运动，经过聚焦的电子束打在荧光屏内表面的荧光粉上发出光来。电子束的水平和垂直运动，形成了荧光屏上的光栅，为显示图像提供了条件。电子束的偏转运动是在外加变化磁场的作用下完成的。为了使电子束能够均匀地从左向右，自上而下地匀速扫描，就要使偏转磁场均匀地变化。一般在电视机扫描电路中都使用电磁扫描方式，也就是使锯齿形的扫描电流通过套在显像管颈部的偏转线圈来产生水平和垂直的偏转磁场，使电子束在穿过偏转磁场时受到磁场力的作用产生扫描运动。

电子束左右方向的扫描称为行扫描。从左向右为行扫描正程，在正程期间显示图像；从右回到左端称为行扫逆程，在这期间不显示图像。为了让电子束一行一行从上而下地扫满整个屏幕，还必须有垂直方向的扫描，在隔行扫描的电视机中称为场扫描。从上而下称为场扫正程；由下而上返回时称为场扫逆程。行扫逆程与场扫逆程不能让电子打在荧光屏上发光，需要把电子束消隐掉。所以在行场消隐期是不传送图像的。现在已发明了利用场消隐期间传送图文信息的技术，充分利用了场消隐这段时间，提高了频道利用率。

对扫描电路及扫描电流有以下要求：

(1) 扫描锯齿波电流的正程线性要好。不论行、场扫描，在正程时都是显示图像的，如果线性不好，就会使显示的图像失真。扫描线跑得快的地方图像会被拉开；扫描线跑得慢的地方图像就被压缩。

(2) 锯齿波电流幅度要足够大。当锯齿波电流过小时，偏转磁场对电子束的偏转力不够大，会使电子束打不满整个屏幕。

为了使光栅充满屏幕,扫描电流应有余量。

(3) 扫描电流应该与发射台严格同步。为了稳定而准确地显示图像,电视机扫描电流应该与发射端严格同步。如果行不同步,图像会产生扭曲甚至花纹;场不同步,会造成画面上下移动,严重时无法观看。

下面对扫描电路各组成部分的作用及工作原理进行扼要分析。

1.偏转线圈

彩色电视机的偏转线圈是采用高强度漆包线绕在喇叭形的铁氧体磁环上,现今的彩色显像管均为自会聚管,要求偏转线圈紧密配合,即采用 PST 型精密线圈结构。偏转线圈不仅担负着使三束电子束 R、G、B 偏转的任务,还应使它们在荧光屏上准确地会聚。自会聚线圈的特点是圈数少、阻抗低,可等效为一个线圈与一个电阻的串联,如图 12-83 所示。

不论行或场偏转线圈均为两个,如图 12-83(a)所示。它的等效电路如图 12-83(b)所示。

行与场的扫描系统基本相同,都是为偏转线圈提供偏转用锯齿形电流,但也有不同之处。首先是行扫描电路的功率要大,这是因为电子束水平扫描比垂直扫描走过的路程要长,并利用行逆程脉冲进行升压,为电路提供高压、中压、低压及显像管灯丝用电源。其次是行扫频率为 15625Hz,场扫描频率为 50Hz。行频高,所以行偏转线圈可看作一个纯电感负载,而场偏转线圈工作频率很低,可看作一个以电阻为主的感性负载。因此二者

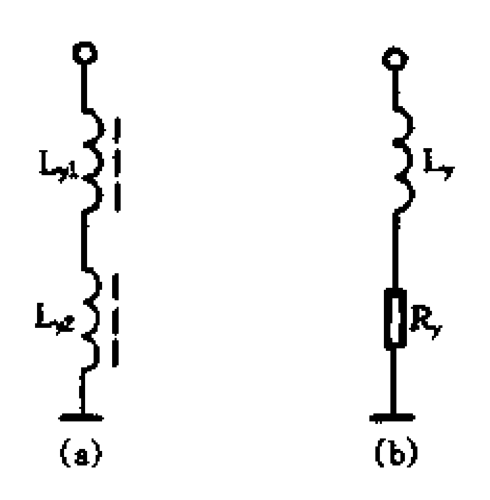


图 12-83 偏转线圈与等效电路

所加的偏转电流也不同，场偏转线圈直接加入锯齿形电流；而行偏转线圈则需加入矩形电流，在线圈内形成线性上升的锯齿形电流。

在同步系统中，行扫描系统最容易受到干扰，所以行扫描的同步取出不用微分电路，而是采用自动频率相位调节电路（AF-PC）。场同步一般不易受干扰，所以一般用简便的积分电路取出场同步信号。

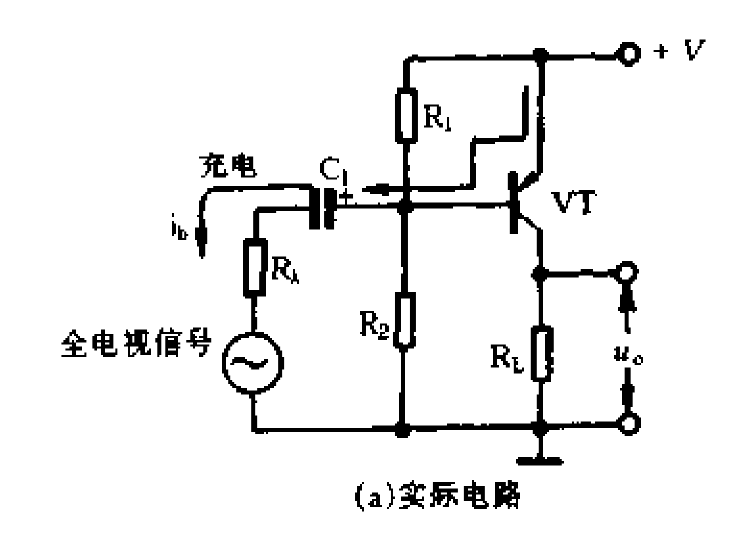
2.同步分离电路

通过本章第二节的介绍，我们已经知道行、场同步信号的幅度最高，要把行、场同步信号从全电视信号中取出，使用了削波电路。但由于各电视信号的强弱不同，即使采用 AGC 自动增益控制，检波以后的全电视信号也会高低不同，仅用处于某种电平的削波器是无法正确切割的。为此，在进行幅度切割之前，应该先把高低不齐的同步头对齐，然后再进行幅度切割，但切割出的是行、场复合同步信号，还需要把行、场同步脉冲再行分开。由于场同步脉冲的宽度远远大于行同步脉冲的宽度，可以用脉冲宽度分离电路，即用积分电路取出场同步脉冲。前面曾介绍过，利用微分电路取出行同步脉冲，但在实用中很容易受干扰，所以采用与行同步脉冲成比例的平均值电压去控制压控行振荡器，达到行同步的目的。在幅度分离电路前面，一般还要加入抗干扰电路，防止外部较大的干扰脉冲对行同步的干扰。

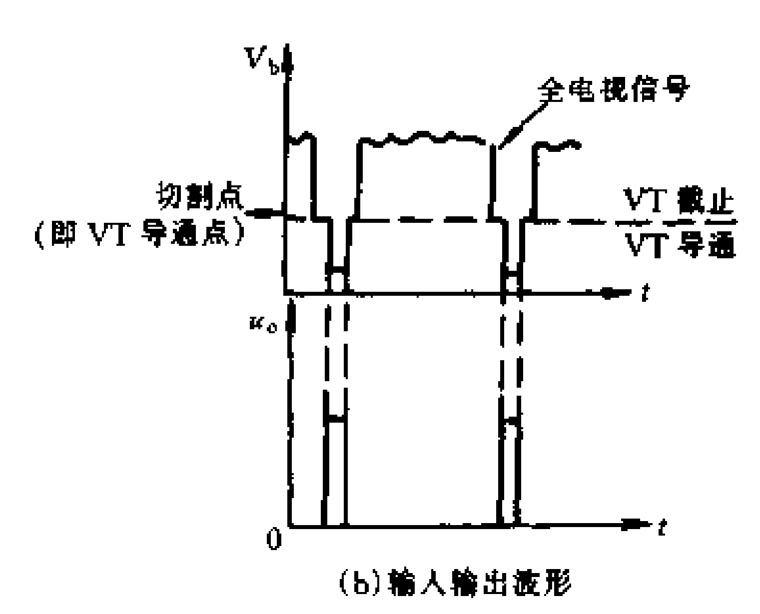
幅度分离

图 12－84 是一个实际的幅度分离电路。分离管 VT 采用的是 PNP 管，通过 R_1、R_2 的分压使基极电压比发射极低 0.4V 左右，无输入信号时，幅度分离管 VT 处于截止状态，但由于偏置电压为 0.4V（硅 PNP 管 $V_{be}=-0.6V$ 即可导通），所以只要同步头低于切割点，管子 VT 即可导通，对同步头进行放大并在集电

极输出经过倒相的行同步(包括场同步)脉冲。



(a)实际电路



(b)输入输出波形

图 12-84 幅度分离电路及波形

实际上 C_1、R_1 与管子 VT 的 be 结组成了一个底部钳位电路,把同步头向下的正极性信号底部(也就是同步头)钳位在同一电平上再进行切割。钳位原理是:当同步脉冲到来时,低于TV 管的导通点,所以 VT 导通(PNP 管基极电压越负,管子导通越充分),i_b(从发射极流向基极)通过管子的 be 结电阻及信号源内阻对 C_1 充电,因为这两个电阻阻值很小,所以充电速度很快,充电极性为左负右正,在 C_1 上建立起电压 V_C,同时在集电

极输出一个正脉冲。在同步头过后，C_1 通过 R_1、R_2 放电，因为 R_1、R_2 较大，所以放电十分缓慢，在 VT 截止期间，C_1 上的电压基本保持不变。当信号强度变化后，C_1 上的电压也会随之变化。C_1 两端电压的极性在无同步头信号期间对 VT 为反向偏压，这个电压维持 VT 截止，只有当同步头到来时，VT 的基极电压才会降低（V_{be}低于 -0.6V），使 VT 导通。C_1 上的反向偏压会随着输入信号大小而变化。信号大，偏压也大，保证了大小信号都能正确切割，以输出幅度一致的同步脉冲。

集成电路中的幅度分离与分立元件电路基本相同。

3.抗干扰电路

在电视机接收电视节目信号的同时，周围环境也存在着各种干扰，如果在接收机中不采取抗干扰措施，就会影响电视机的正常收看。因此抗干扰电路（又称抑噪电路）是必不可少的。图 12-85 是一种消除窄脉冲高幅度干扰的电路。

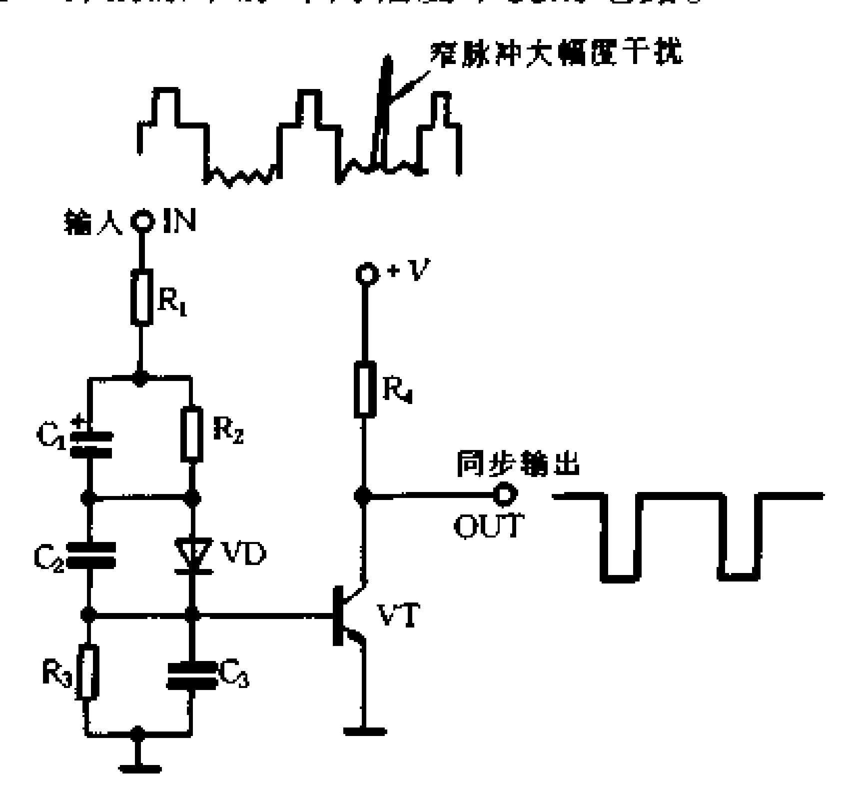


图 12-85 抗窄脉冲高幅度干扰的电路

图中,VT 为幅度分离管,与图 12-84 相比,VT 由于 PNP 管换成了 NPN 管,输入、输出信号极性均相反,基本原理则完全一样。在 VT 的基极回路,增加了 C_2、VD 两个元器件,C_2 取值约为 1000pF,比 C_1($5\mu F \sim 10\mu F$)的取值小得多,一旦输入信号中混入大幅度窄脉冲干扰,因为 $C_2 \ll C_1$,所以 C_2 上很快充满电,干扰过后,C_2 上充的电荷通过二极管 VD 迅速释放,使 C_2 上的电压不会对电平切割造成影响。

4. 场扫描电路

场扫描电路包括积分、场同步脉冲的分离、场振荡、场推动和场输出电路等几部分,它的方框图如图 12-86 所示。

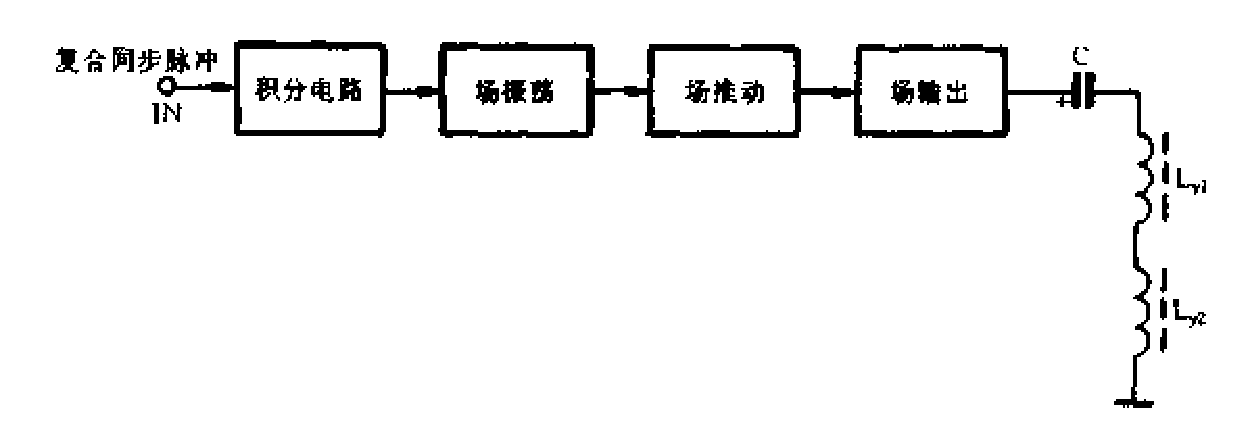


图 12-86 场扫描电路框图

全电视信号经幅度分离后得到了复合同步信号,由于场同步脉冲宽度为 $160\mu s$,比行同步脉冲的 $4.7\mu s$ 宽很多,所以经过二节或三节 RC 积分电路,即可取出场同步信号,去掉行同步信号。场同步信号送入场振荡电路,输出与电视台同步的锯齿波电压,通过场推动级放大,获得足够的功率去推动场偏转线圈。

(1) 积分电路

为了更好地抑制行同步脉冲,一般采用二节或三节 RC 积分电路(见图 12-87)。实际上三节 RC 积分与二节积分相比,对行同步脉冲抑制并无太大差别,所以一般采用二节 RC 积分

即可满足要求。

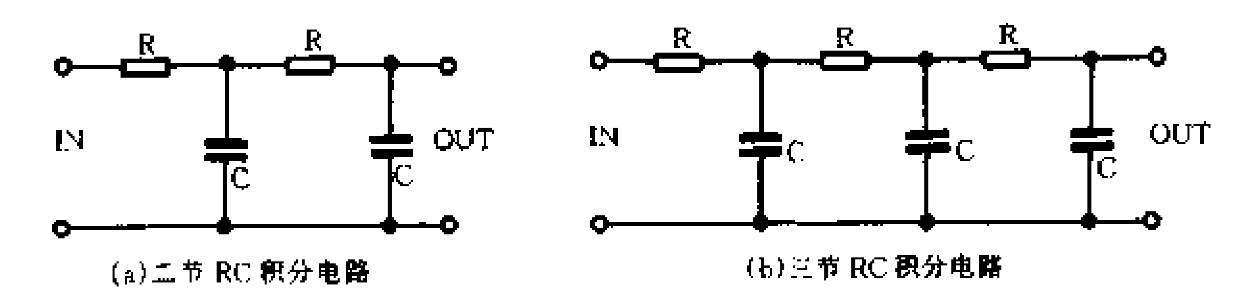


图 12-87 多节积分电路

(2) 场振荡电路

场振荡电路是一个间歇振荡，见图 12-88 所示。图中，电阻 R_1、R_2 分压后为振荡管 VT 提供基极偏压，接通电源后，VT 导通，产生基极电流 i_b，i_b 增加 i_c 也随之增加，集电极电流 i_c 在 T 的 L_2 中产生感应电动势 e_1，极性为左正右负，这个感应电动势经 T 耦合到 L_1，根据同名端在 L_1 中的感应电动势 e_2 为右正左负，使 i_b 进一步增加，即

i_b↑→i_c↑→L_2 上的感应电动势 e_2↑→L_1 上的感应电动势 e_1↑→i_b↑↑

这一过程很快使晶体管进入饱和状态，这时 c、e 之间完全导通，又因为发射极电容在充电瞬间相当于短路，所以在 c、e 导通瞬间 V_C 降到最低值(接近 0V)，而基极电压除了有 R_1、R_2 分压外，还要叠加 L_1 上的感应电动势 e_1，所以在导通瞬间基极电压 V_b 最高，见图 12-88(b)所示的波形。

此时电源 + V 通过变压器 T 的 L_2 及 c、e 之间对 C_e 充电，因为 L_2 及 c、e 导通时内阻很小，所以充电很快，如图 12-88(b)中 V_e 的波形，同时，电源电压 + V 通过 L_1 及晶体管 VT 的 be 结内阻及 R_e 对 C_b 充电，随着 C_b 的充电会使 V_b 下降；而 C_e 的充电又会使 V_e 升高，二者共同作用的结果，是使 VT 的 V_{be} 减小，从

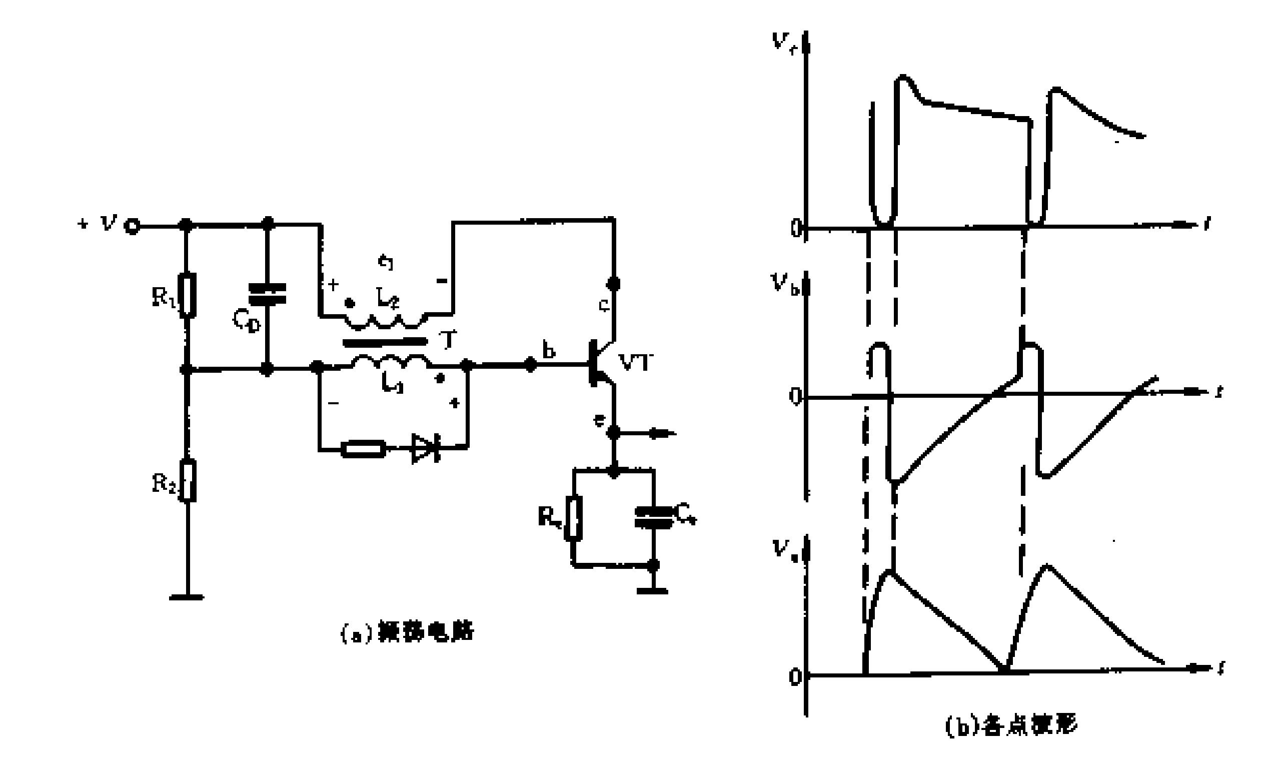


图 12-88 间歇式场振荡电路

而使 i_b 下降，管子由饱和区进入放大区，引起以下连锁反应，即

$i_b\downarrow\rightarrow i_c\downarrow\rightarrow L_2$ 上的 e_2 反向（左负右正）→e_1 反向（左正右负）→ $V_b\downarrow\rightarrow i_b\downarrow\downarrow$

最后导致晶体管 VT 截止，C_e 通过 R_e 放电，因为 R_e 较大，所以放电较慢。由于 C_e 的放电，使 V_e 逐渐下降，当 V_e 下降到使 $V_{be}\geq 0.6V$ 时，VT 开始导通，并进入下一周期的振荡。

(3) 同步接入方式

由以上分析可知，C_e 的放电使 V_b 逐渐上升，当 V_{be} 上升到 VT 的导通电压时，VT 开始导通。如果外加一个脉冲，在 V_{be} 尚未上升到导通阈值时，叠加的脉冲将使 V_{be} 越过导通点，使 VT 提前导通。这就是场振荡的同步原理，图 12-89 所示。

图中 0.6V 的一条虚线代表 VT 的 V_{be} 的导通电平。未加外部场同步时，V_{be} 如实线所示，它的振荡周期为 T_1；当外加场同步脉冲叠加在基极上，强迫 VT 提前导通，振荡周期将缩短为

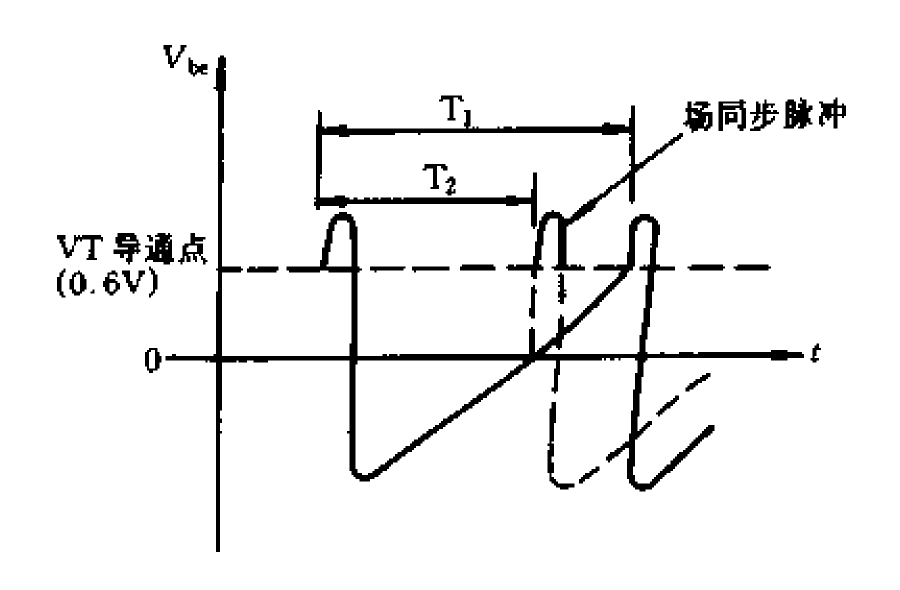


图 12-89　场同步脉冲的加入

T_2。由图可知，为使场同步脉冲有效，自由振荡周期 T_2 应大于场同步周期 T_1，实际上场间歇振荡器的自由振荡频率应接近 50Hz 又略低于 50Hz 为合适。当自由振荡频率超过 50Hz 时，场同步脉冲无法进行同步。

（4）集成电路中的场振荡电路

分立元件的场振荡电路简单，但间歇式振荡器需要一个变压器，使用时易出故障。目前彩色电视机均采用集成电路的多谐振荡器电路，在大屏幕新型彩色电视机中，利用压控晶体振荡器产生 504kHz 的振荡信号（矩形波），经过 1/10080 分频产生 50Hz 的场频脉冲，再经过锯齿波形成电路产生扫描用的锯齿波电压。

集成电路 TA76099 中的多谐振荡器电原理图如图 12-90 所示。

运放输入端是一对差动对管 VT_1 与 VT_2，同相输入端 V_+ 对应 VT_2 基极；反向输入端 V_- 对应 VT_1 基极。运放输出 V_o 经 R_6、R_2 反馈到同相输入端 V_+，在反相端通过 R_3 接有充放电电

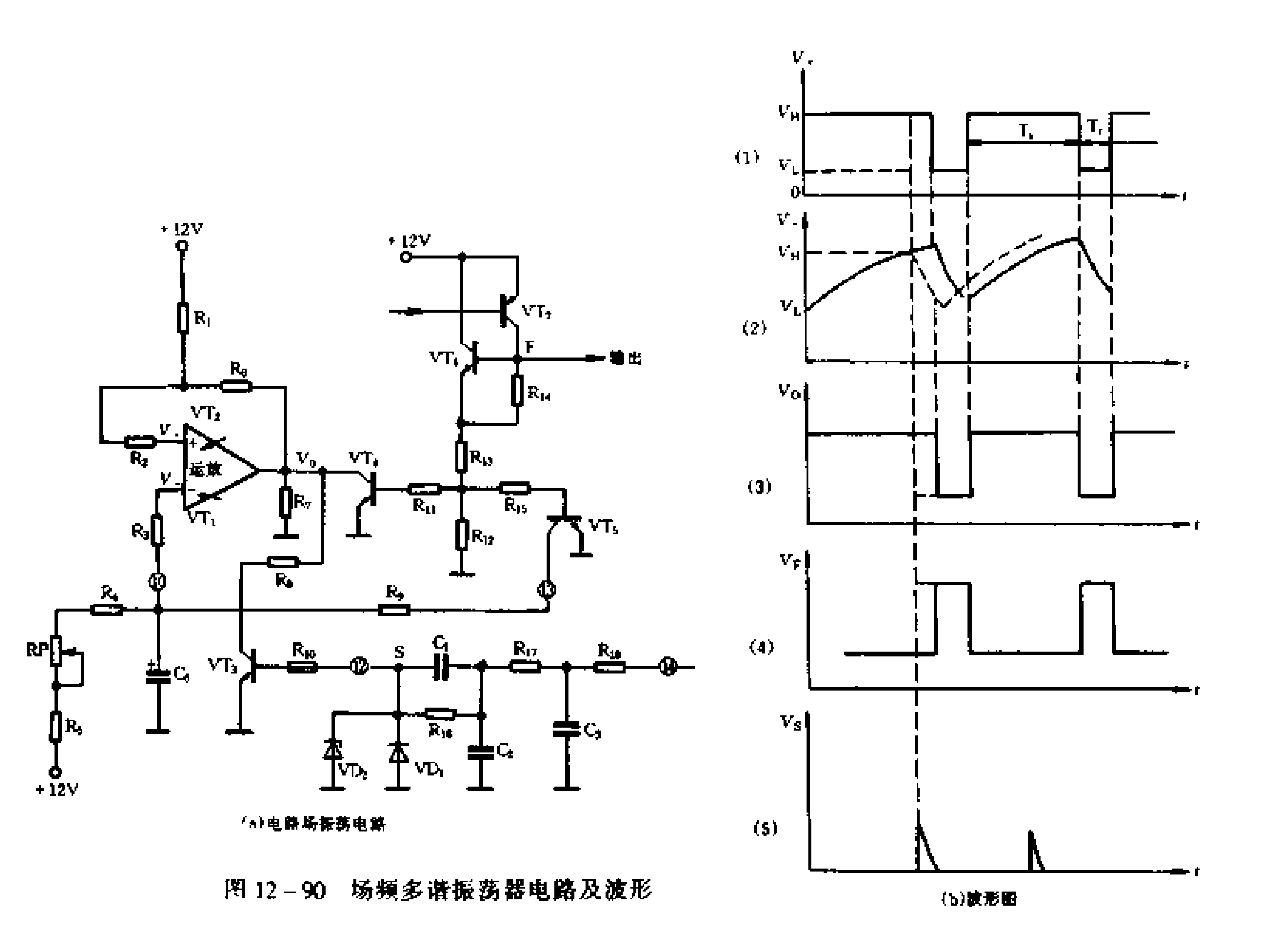


图 12－90 场频多谐振荡器电路及波形

容 C_0，随着时间的变化，C_0 上的电压升高或降低，引起两种电平的正反馈连锁反应。使输出 V_o 由高变低，再由低变高，这种连续变化形成了振荡。振荡过程如下：VT_4、VT_5 与运放共同组成自激多谐振荡器，刚通电时，C_0 上电压很低，所以 $V_- < V_+$，V_+ 所接 VT_2 管导通，运放输出 V_o 为高电平，此时 +12V 电源通过 R_4、R_5 与电位器 RP 对 C_0 充电，使 V_- 随 C_0 的充电按指数规律上升，见图 12－90(b)中的(2)图，当上升到 V_H 时，此时的 V_H 即是 V_+ 上的电压，一旦 V_- 上的电压刚一超过 V_H，输出端 V_o 立即翻转成低电平（运放的输出端随输入端而变，变化规律是：$V_+ > V_-$ 时，V_o 为正；$V_- > V_+$ 时 V_o 为负）。此时 V_+ 端由于 V_o 经 R_6、R_2 的反馈而变低，VT_4 处于饱和状态，VT_6、VT_7 导通，使 F 点输出接近 +12V，与此同时，VT_5 也导通，电容 C_0 通过 R_9 及 VT_5 的 c、e 之间放电，因为电阻很小，所以放电迅速，随着 C_0 的放电，V_- 电位下降，当降到 V_L 值时，引起 $V_+ > V_-$，发生正反馈连锁反应，使 VT_2 导通，VT_1 截止，V_+ 与 V_o 同处于高电平。从而形成矩形波振荡。

复合同步信号由⑭脚接入，经 R_{18}、C_3 与 R_{17}、C_2 两级积分后，得到场同步信号，又经二极管 VD_1 削波得到正极性信号，再由 VD_2 钳位，使正电压不致过高，在 S 点得到幅度合适的正极性场同步脉冲[见图 12－90(b)中第(5)图]，同步信号的加入，使 VT_3 导通，并把 V_o 的高电压拉低，V_o 被压低后，经 R_6、R_2 电阻分压，V_+ 也被压低，从而造成电平的提前翻转，达到了同步的目的。需要注意，同步的必要条件是场同步同期小于自由振荡周期。

(5) 场扫描输出级

场振荡产生的锯齿形电压，经场推动级放大，输入场输出级进行功率放大，直接驱动偏转线圈工作。场输出级担负着场扫描功率放大的任务。

场输出级可分为单管扼流圈耦合甲类功放、互补推挽式无输出变压器场输出(OTL)电路以及泵电源场输出级。OTL 型场输出级电路如图 12－91 所示。

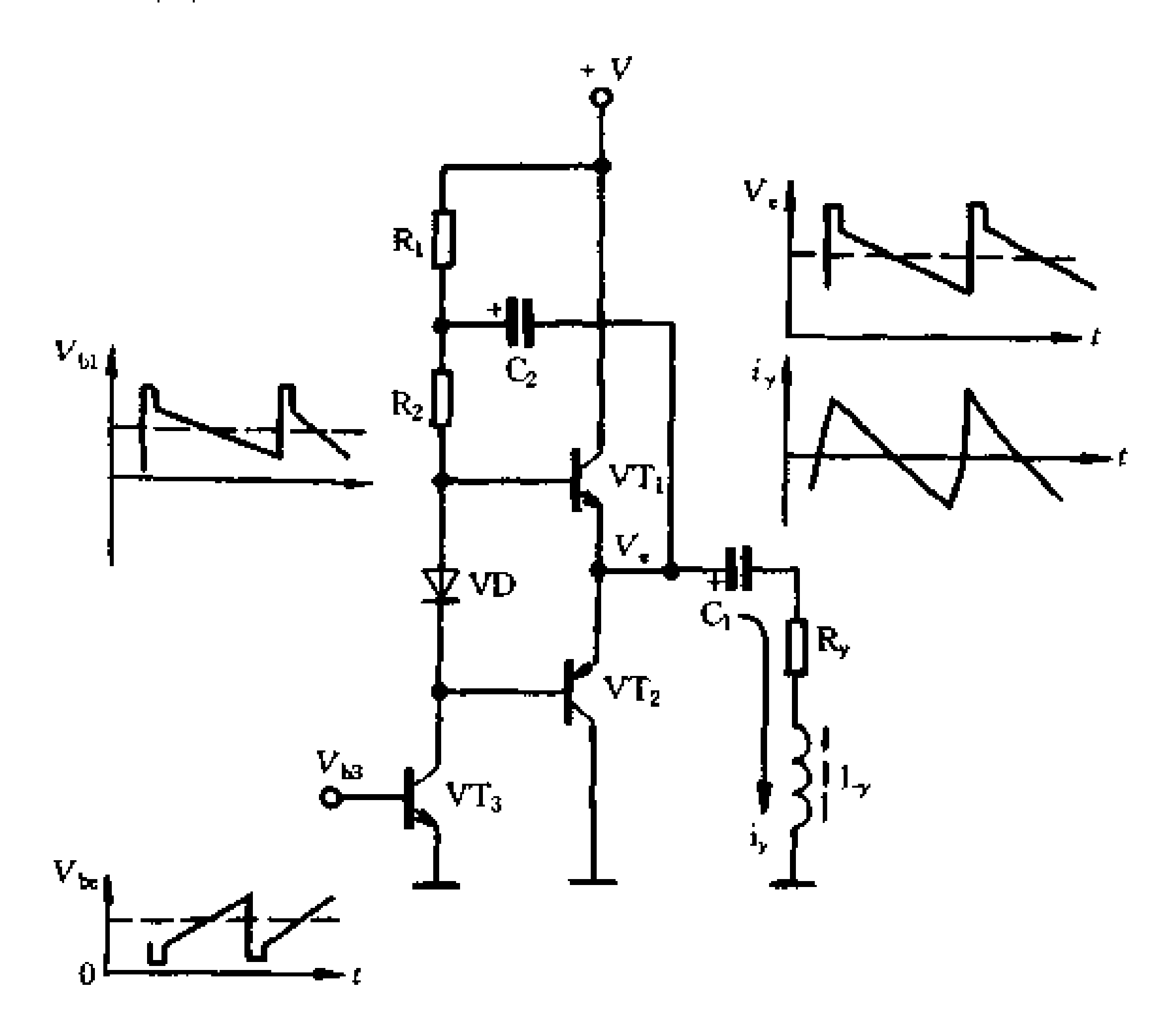


图 12－91　互补推挽式 OTL 场输出电路

图中,VT_3 为推动器,工作于甲类,而 VT_1、VT_2 工作于甲乙类。当 VT_3 基极加入正极性的锯齿波电压后,经 VT_3 放大并倒相,推动 VT_1、VT_2 轮流导通,因为 VT_1 为 NPN 型管,所以在锯齿波正程前半段导通放大,VT_1 导通后,电源 +V 通过 VT_1 及偏转线圈对 C_1 充电,充电极性如图所示。当 V_b 上的锯齿波电压变化到正程后半段时,VT_1 截止,VT_2 开始导通,此时 VT_2 已得不到电源 +V 的电压,而电容 C_1 所充的电压作为电源对 VT_2 供电,

完成后半个正程的放大。偏转电流 i_y 与 V_e 上的输出电压波形相似，但 i_y 是一个交流信号，用作偏转线圈 L_y 的偏转电流。

这种电路输出的功率大、失真小、便于集成化，效率也高，但它存在的问题是，在场逆程开始时，VT_1 的基极激励电压为一个脉冲上跳，此时 VT_1 很快导通，在 V_e 上出现较高的感应电压，为使 VT_1 在此时导通，必须使电源电压提高，否则，会使场逆程时间加长（超过 1ms 时间），达不到电路的要求，因此电源电压在 100V 左右，但在扫描正程时，这么高的电源电压又无必要，造成浪费，所以常用一种双电源供电，在场扫描正程时自动换为低电电压，提高了效率。

(6) 使用泵电源的场输出级

这种双电源供电的电路称为泵电源电路，如图 12－92 所示。二极管 VD_2 与晶体管 VT_3 是泵开关电路，可以按扫描的正逆程时间准确地向场扫电路提供两种不同电压。

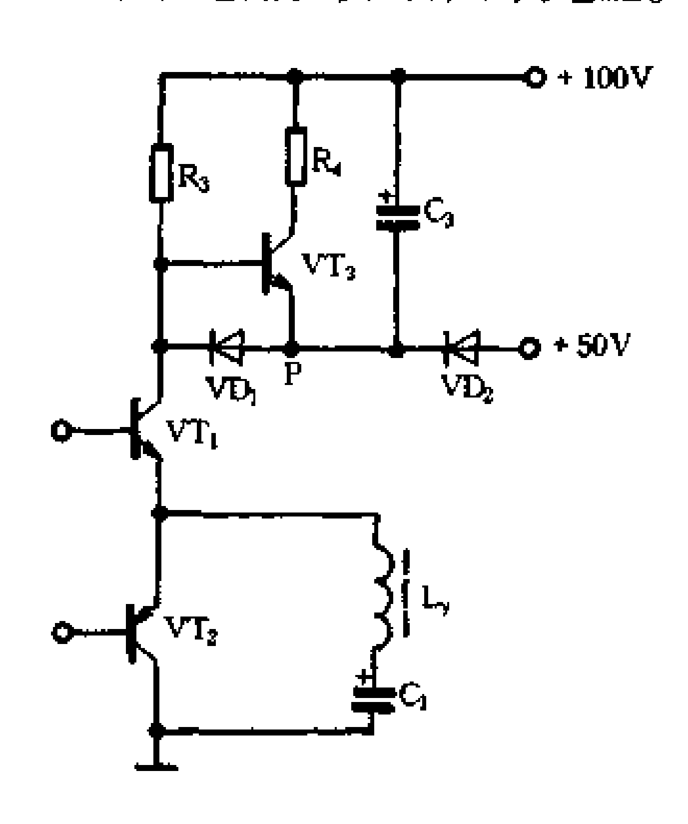


图 12－92 泵电源电路

在场扫正程前半段，激励信号使 VT_1 导通、VT_2 截止，这时 50V 左右的低电压电源通过 VD_2、VD_1、VT_1 及偏转线圈 L_y 对 C_1 充电。在 VT_1 导通时，VT_3 的基极对发射极的电压为负值（VT_3 为 NPN 管），所以 VT_3 截止。此时泵电容 C_3 被 100V 高压电源 50V 低压电源之间的压差所充电，充电极性为上正下负，充电电压约为 50V 左右。场扫描进入正程后半段时，VT_1 截止、VT_2 导通，VD_1、VD_2 因 VT_1 的截止而断开。VT_3 饱和，泵电容 C_3 通过 R_4 及饱和的 VT_3 的 c、e 极之间放电，此时在 VT_3 发射极 P 点电压逐渐升到 100V 左右，因为 VD_1、VD_2 及 VT_1 截止，所以 P 点电位还不能作为供电电源，这段时间 C_1 上充的电通过 VT_2 的 c、e 之间放电，在 L_y 中形成场扫描电流正程的后半段。

当场激励信号进入逆程以后，VT_1 由原来的截止突然变为导通，VD_1 负极电位下降而导通，VT_3 又被迫截止，因 P 点电位仍在 100V 左右，VD_2 仍然截止，这时由 P 点 100V 电压暂时供电。当 VT_1 完全导通以后，电流加大，P 点电位迅速下降，泵电容 C_3 两端又出现电压差，C_3 立即充电，P 点电位降低，当降到 50V 时，VD_2 导通，P 点被钳位于 50V，转为 50V 供电。实际上 100V 供电只有一瞬间，但依靠这一高电压，使场逆程时间缩短，达到了预期要求。

5、行扫描电路

行扫描电路的主要任务是产生能形成线性光栅并与发送端同步的行扫描电流。同时还要供给显像管的高压阳极、加速极、聚焦极、灯丝等所需的电源电压，有的还要为视放及中放等提供电源，为 AFC 电路提供比较脉冲，为视放极提供行消隐脉冲。若采用了键控 AGC，还要提供键控脉冲等。

行扫描电路的特点是高压、大电流，消耗的能量约占整机能量消耗的 60% ~ 70%。行振荡与场振荡同为间歇振荡，但同步

方式不同。场同步用积分电路取出，而行同步采用的是自动频率相位控制电路(又称 AFPC 电路)。行推动与行输出同时工作在开关状态。因为行输出工作于高压、大电流的开关状态，所以对行管要求很高，要求它的耐压(BV_{ceo})要足够高，电流容量要足够大，同时导通内阻(饱和压降)要小，并要把行管安装在面积足够大的散热片上，防止过热而损坏。

在行输出变压器绕组上感应的几千伏的行逆程脉冲，经高压绕组的升压，达到几万伏，经整流后为显像管提供阳极高压。因为电压高，所以行输出变压器均用环氧树脂密封，防止高压跳火损坏有关元器件。这部分电路目前尚未实现集成化。

(1) 行输出级的典型电路

图 12－93 是典型的行输出级电路，T_1 为行推动变压器，VT 为行输出管，VD_1 为阻尼二极管，C 为行逆程电容，C_s 是 S 形校正电容，L_y 为行偏转线圈，T_2 是行输出变压器。

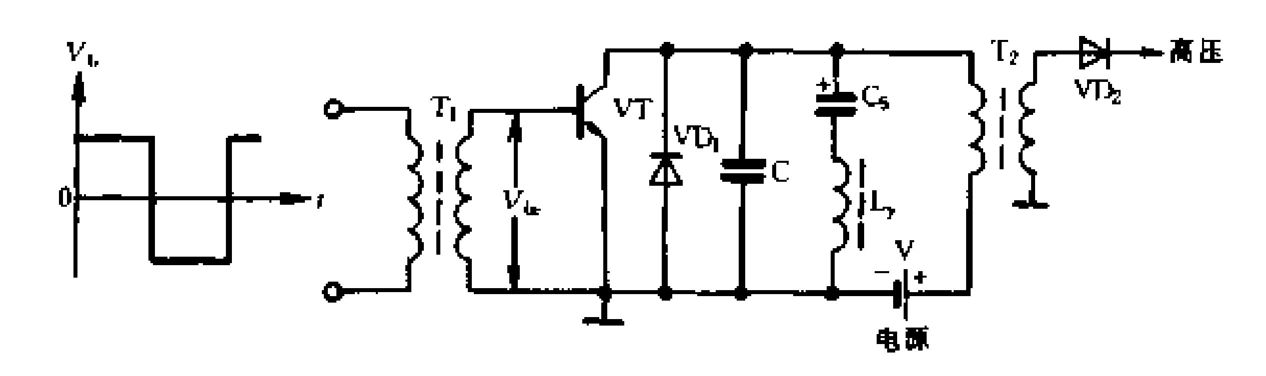
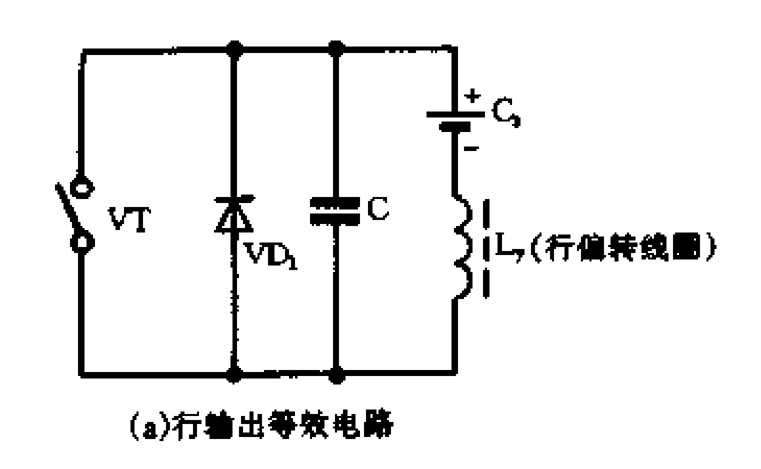


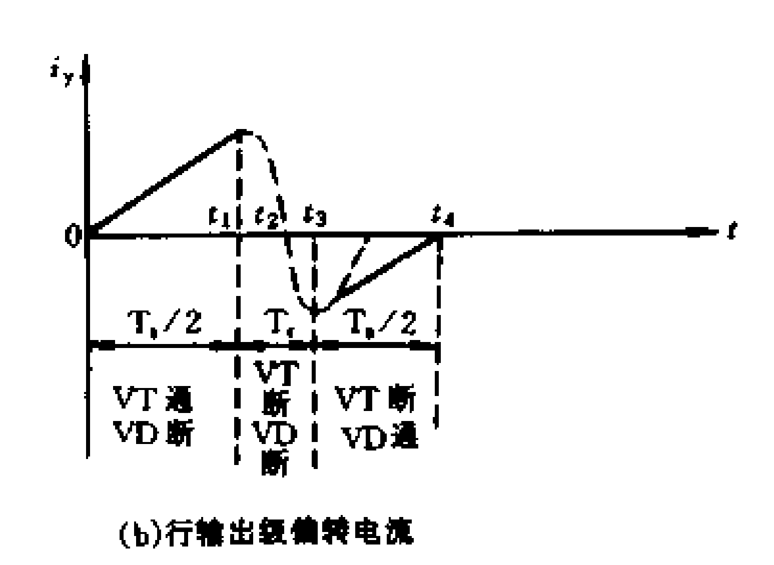
图 12－93 行输出实际电路

为了说明行输出级的工作原理，把电路作了如下简化：行管 VT 工作在开关状态，所以用一个开关代替，在工作中 C_s 上充的电压等于电源电压＋V，所以在分析时暂时把 C_s 看作一个电源，等效后的电路为图 12－94(a)，图 12－94(b)为行偏转电流的波形。

(2) 行输出级的工作过程



(a)行输出等效电路



(b)行输出级偏转电流

图 12-94 等效行输出电路及偏转电流

为了进一步简化电路,对图 12-94(a)再作进一步简化。因为当 VT 受 V_{be}矩形波正脉冲的激励时处于导通状态,相当于开关闭合,此时并联在 c、e 两极之间的行逆程电容 c 与阻尼二极管 VD_f 对电路无任何作用,可以简化成图 12-95(b)。图 12-95(a)中第一个波形图为 VT 基极所加的激励电压 V_{be},它在 0~t_1 时间为高电平,所以 VT 导通。电源电压 C_s 通过开关加到偏转线圈 L_y 上。在开关接通时,产生的电流 i_y 并不像在电阻中那样立刻达到某一稳定值,而是从 0 开始,随着时间的增长线性地增大,可用下式表示

$$i_y \doteq \frac{V}{L_y} + t$$

式中，V 为电源电压。

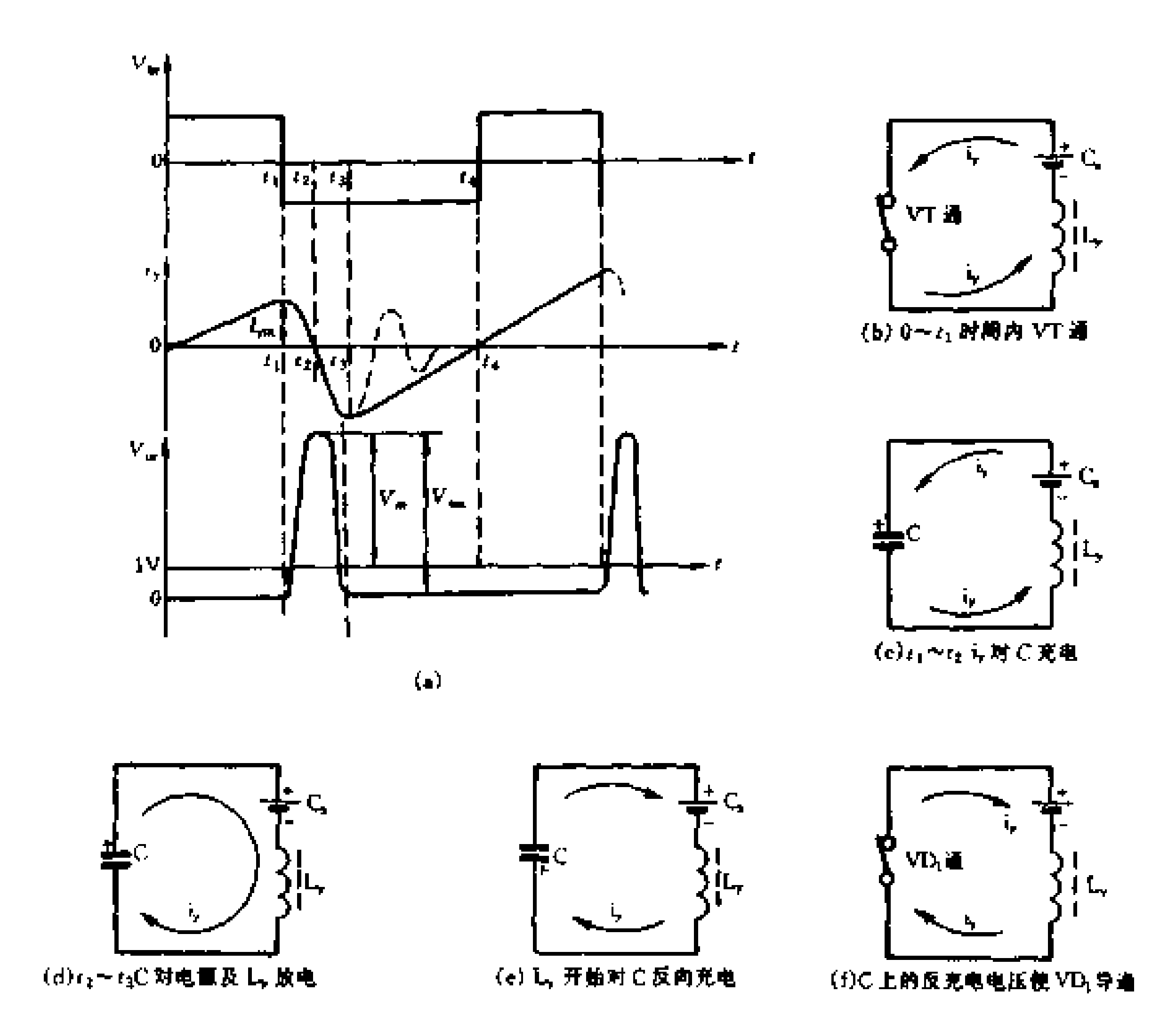


图 12－95　行输出工作过程及波形图

当时间到达 t_1 时，V_{be}激励电压变为负值，行管 VT 截止，相当于开关断开，此时应考虑并联在 VT 管 c、e 两端的阻尼管 VD_1 与行逆程电容 C 的作用，因为 i_y对 VD_1来说是反向电流，所以 VD_1不导通，此时 i_y向电容 C 充电，充电极性为上正下负，见图 12－95(c)，随着充电的进行 C 上的电压越来越高，充电电流 i_y 则越来越小，在 t_2时刻趋近于零，充好电的电容 C 开始向电源及 L_y放电，形成负向 i_y，见图 12－95(d)所示。放电电流由 0 增

长到负最大值，此时 C 上的电能已转化为磁性储存于 L_y 中，在 $t = t_3$ 时刻，C 上的电能已放完，C 上的电压变为零伏，此时 L_y 中储存的磁性向 C 进行反方向充电，C 上的电压逐渐上升，极性为上负下正，见图 12－95(e)所示。由以上分析可知，在 $t = t_1$ 时刻以后，行管 VT 截止，L_y 与 C 在进行着磁场能量与电场能量的交替转换，形成了 1/2 周期的正弦振荡。在 t_3 时刻，i_y 对 C 反方向充电时，C 上所充的电压一旦超过了阻尼管 VD_1 的正向导通电压，VD_1 立即导通，L_y 与 C 的自由振荡自动停止，偏转电流 i_y 通过 VD_1 从负的最大值线性地增长到零[见图 12－95(f)及图 12－95(a)中 t_3 到 t_4 期间的 i_y]，通过二极管 VD_1，i_y 继续流动，直到 L_y 中的磁场能量释放完毕。当 i_y 减小到零时，激励电压 V_{be} 变为正脉冲，VT 导通，进行下一周期的扫描。由图 12－95(a)的 i_y 波形可见，在 $t_3 \sim t_4$ 期间，有一条虚线表示的正弦减幅振荡，电路中若没有二极管 VD_1，振荡会继续进行下去，加入 VD_1 以后，i_y 通过 VD_1 流通，对正弦振荡进行了阻尼，所以称 VD_1 为阻尼二极管。

(3) 行逆程及行逆程脉冲

由图 12－95 中的 V_{ce} 波形还可以看到，在 $t_1 \sim t_3$ 这段逆程时间内，V_{ce} 电压出现了一个很高的反向脉冲，叫做行逆程脉冲。

行逆程脉冲的幅度与行逆程时间 T_r 有关。因为在行逆程时间内，行偏转线圈 L_y 与行逆程电容 C 形成了 LC 自由振荡，并进行了 1/2 周期，可由下式计算这一时间

$$T_r = \pi\sqrt{L_y \cdot C}$$

因为一般行逆程时间为 12 μs，所以可以根据已知的行偏转线圈 L_y 的电感量来计算行逆程电容量 C 的大小。反过来，在偏转线圈已确定其大小的情况下，通过改变 C 的电容量，也可以改变行逆程时间 T_r。行逆程脉冲的大小与行逆程时间的长短有关。

设偏转电流 i_y的最大值为 I_{ym}，行逆程脉冲最大电压为 V_m，则

$$\frac{1}{2}L_y \cdot I_{ym}^2 \doteq \frac{1}{2}CV_m^2$$

化简后 $V_m = I_{ym} \cdot \sqrt{\frac{L_y}{C}}$

因为 $i_y = \frac{V}{L_y} \cdot t$

所以 $I_{ym} = \frac{V}{L_y} \cdot \frac{T_s}{2}$（式中 V 为电源电压）

代入上式，得到

$$V_m = \frac{V \cdot T_s}{L_y \cdot 2} \cdot \frac{\sqrt{L_y}}{\sqrt{C}} = \frac{V \cdot T_s}{2\sqrt{L_y \cdot C}}$$

在上式的分子分母中同时乘上一个 π，得

$$V_m = \frac{V \cdot \pi \cdot T_s}{2\pi\sqrt{L_y \cdot C}}$$

因为行逆程 $T_r = \pi\sqrt{L_y \cdot C}$

所以 $V_m = \frac{V \cdot \pi \cdot T_s}{2T_r}$

式中，I_{ym}为行扫描电流 i_y的最大值，从图 12－95(a)的 i_y波形可见，在 t_1时刻 i_y达到最大值 I_{ym}，达到 I_{ym}所需的时间是行扫正程的一半，即 $T_s/2$。

式中行扫正程时间 $I_s = 52\mu s$，行扫逆程时间 $T_r = 12\mu s$，由公式可推出 $V_m = 70V$，所以 $V_{cm} = 10V + 70V = 80V$。

这个电压加于行管 VT 的 c、e 极之间，是行管、阻尼管在逆程期承受的最大脉冲电压，V_{cm}对行管 VT 的 c、b 极及 VD_1的 PN 结均为反向偏压，所以称 V_{cm}为最大的反向峰值电压。在挑选行输出管及阻尼管时，应使反向耐压（BV_{CEO}）大于 15 倍电源电压 V，以保证安全工作。例如彩电行输出电路电源电压约为 100

V，选择行管的耐压 V_{CEO}应在 1500V 左右。

(4) 行扫描电路的交越失真

在图 12－95(a)中，偏转电流 i_y在 t_3～t_4期间，是通过导通的阻尼二极管 VD_1完成行扫描正程的前半段(屏幕左侧到屏幕中央)。根据 VD_1的正向特性，当正向电流过小时就会进入非线性区，导致 VD_1突然截止，此时行管 VT 还没有导通，出现了交越失真，如图 12－96(a)所示。

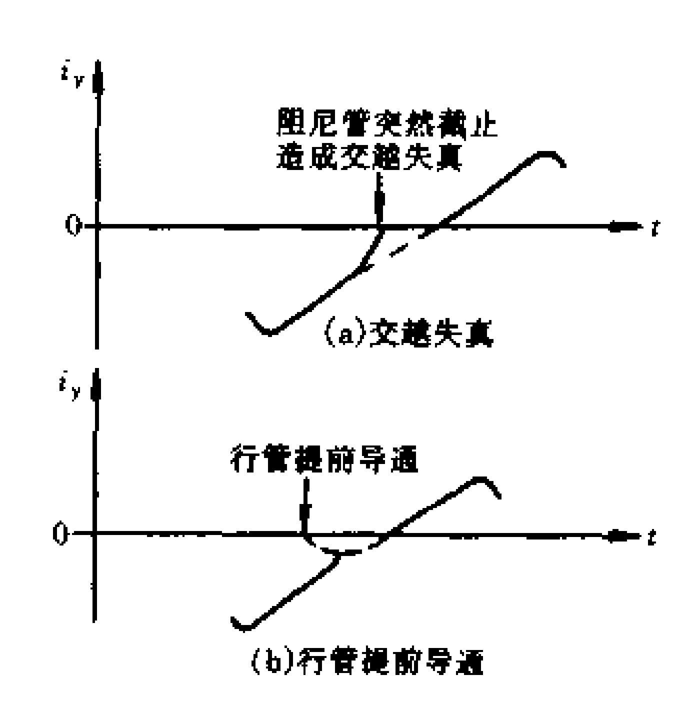


图 12－96　交越失真及改进后的波形

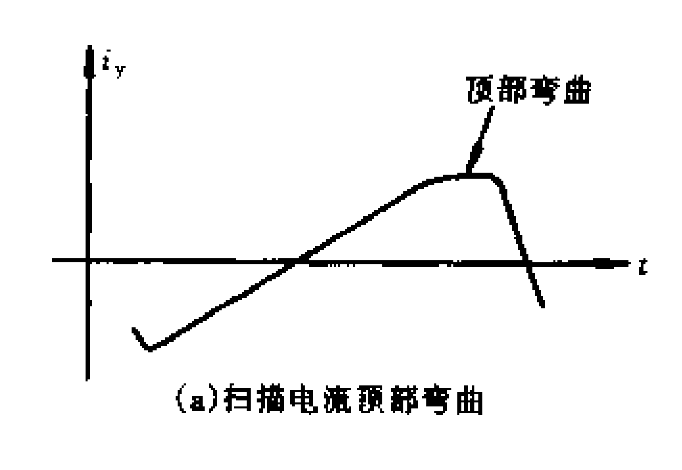
产生交越失真后，扫描光栅在荧光屏中间偏左形成一条竖直亮带，电子束在此处扫得很慢，造成压缩。为解决这一问题，应使行管提前导通，行管提前导通后，VT 的发射结与集电结均为正向偏置，相当于一个充分导通的二极管，偏转电流 i_y从发射极流向集电极，正好弥补了阻尼管的截止失真。

在黑白电视机中还采用把阻尼管负极接在多绕 1～2 圈的行输出变压器的初级线圈上，以提高阻尼管上的电压，克服阻尼管的非线性失真。在彩色电视机中，因为阻尼管往往与行管封

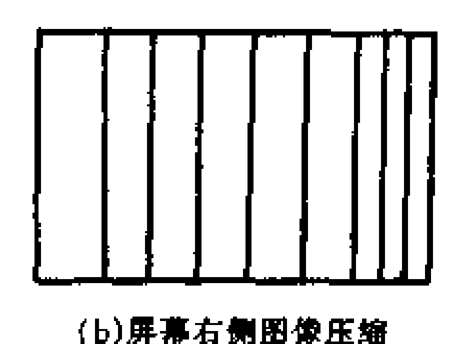
装在一起，所以不能采用这种方法。

(5) 行偏转电路内阻造成的失真

在分析行扫描电路时，我们曾把行偏转线圈看作一个纯电感，当行管、阻尼管导通时，认为扫描电流 i_y 会如公式 $i_y=\frac{V}{L_y}\cdot t$ 描述的那样，随时间 t 而线性上升。实际上，电路中总是存在一定的电阻的，如行管、阻尼管导通时的内阻，偏转线圈的导线电阻及引线电阻等，由于这些电阻的存在，偏转电流由小变大时，电阻上的电压降也随之增大，造成偏转电流在扫描后期不能线性上升，而是变得弯曲。行扫描电流的这种失真造成屏幕上图像右侧被压缩，如图 12－97 所示。



(a)扫描电流顶部弯曲



(b)屏幕右侧图像压缩

图 12－97　行偏电路内阻造成偏转失真

为了抵消电路内阻造成的 i_y 顶部弯曲造成的失真，可以引入一种非线性电感，使它在电流变大时，电感量随之变小，从而

维持电流 i_y的线性上升。为此，在行偏转电路中串联了一个电感量约等于 $1/10L_y$的小电感线圈，线圈用漆包线绕在一个工字形磁芯上，在外面放置一块永久磁铁，使磁铁方向与偏转电流 i_y后半段在磁芯上产生的磁力线方向为顺磁方向，因为磁芯很细，在 i_y后半段电流增大时，行线性线圈产生磁饱和，引起电感量下降，使 i_y增大，不再受电路内阻的影响而弯曲，从而补偿了 i_y后半段顶部的弯曲失真，如图 12－98 所示。

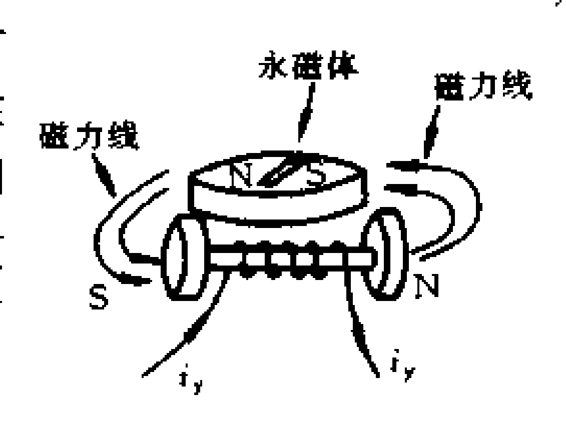


图 12－98　行线性调节线圈的结构

图中，i_y方向为行扫描正程的后半段，由 i_y产生的磁力线方向如图所示，它与永磁体磁场为顺磁方向。在 i_y变大时，会产生磁饱和，调节永磁体的角度，可以调节屏幕右侧图像的伸缩。

在大屏幕彩色电视机中，通过提高行输出级的电源电压就可以减少或基本消除电路中内电阻的影响，不必使用行线性调节线圈。

(6) 延伸性失真的 S 形校正

随着电视屏幕尺寸的不断增大，屏幕表面越来越接近平面，因而延伸性失真越来越突出，如图 12－99 所示。电子束在偏转时，走过的路程不同，偏转中心距屏幕中间最近，距屏幕两侧则较远，当电子束在线性良好的锯齿波产生的偏转磁场作用下，在水平方向以

电子束偏转中心

显像管

图 12－99　延伸性失真的原因

匀速扫描时,距离远处比近处扫过的速度要快,这就导致两侧距离较远处的图像被拉开,中间的图像被压缩。为了解决这一问题,应该使扫描线在始端与末端扫得慢些,在中间扫得快些,行扫描经校正后的电流波形很像英文字母 S,所以称为 S 形校正,图 12-100 是 S 形行扫描电流波形。

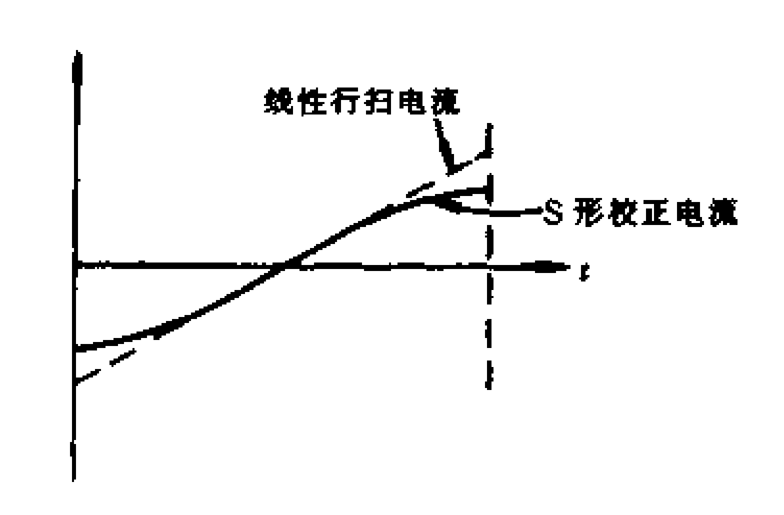


图 12-100　S 形行扫描电流波形

为了使行偏转电流按 S 形变化,可在行偏转线圈中串入合适的电容 C_S(如图 12-93 中行输出电路中的 C_S),使行扫正程期间 L_y 与 C_S 产生串联谐振。选择合适的校正电容 C_S,使这个串联谐振周期的一半等于行扫正程时间,与行扫正程电流叠加,产生余弦变化,使扫描线中间为线性,两端弯曲成 S 形,以补偿延伸性失真。

(7) 枕形失真及校正方法

在彩色电视机中,由于屏幕尺寸增大以及超平面管的出现,既使行、场扫描电流的线性很好,光栅也会出现如图 12-101(a)所示的枕形失真(失真的形状如枕头)。

枕形失真为水平方向与垂直方向两种,示于图 12-101(b)、(c)上方。校正这种失真的波形如图 12-101(b)、(c)下方所示。

校正水平枕形失真,应使水平扫描电流的幅度不尽相同。在中间弯曲较大处对应的行扫描电流幅度要大些。为实现这样

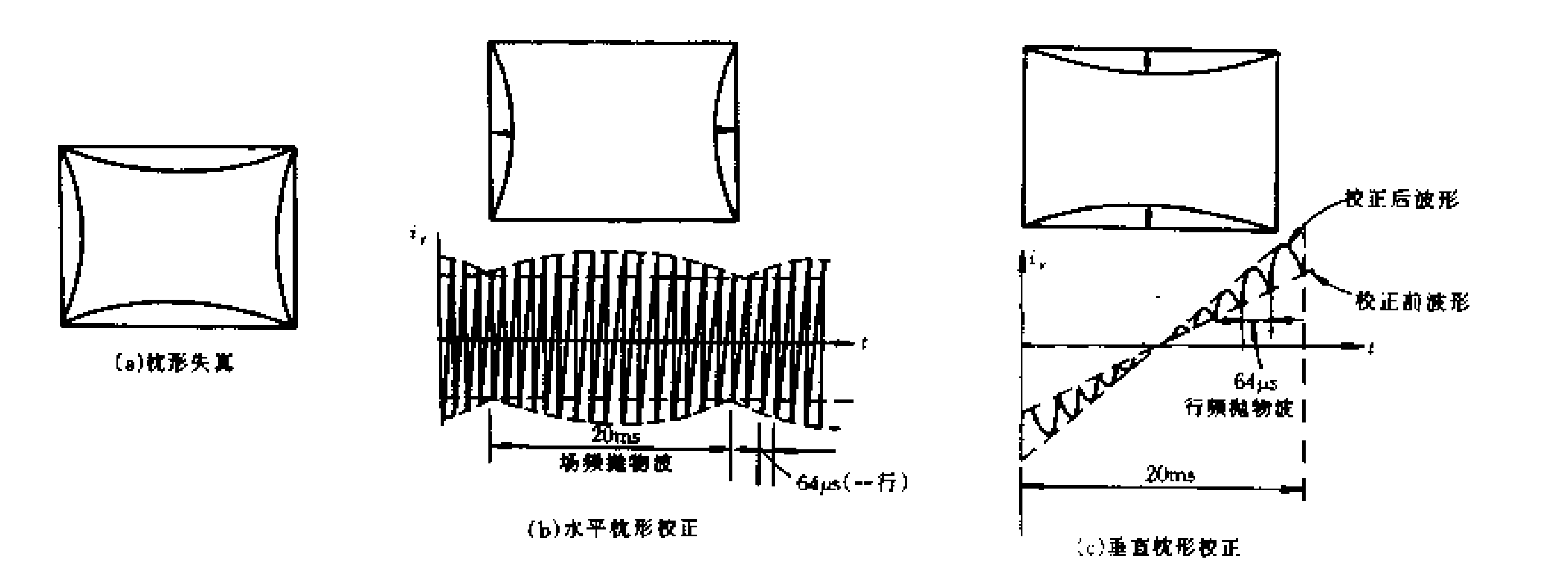


图12-101 枕形失真及校正方法

的变化，可以把场频锯齿波经积分电路变成抛物波叠加在行扫描电流上，即可形成图 12－101(b)所示的波形；相应地，把行频锯齿波经积分变成行频抛物波叠加在场扫描电流上，即形成图 12－101(c)的波形。

(8) 行输出变压器

行输出变压器又称为行逆程变压器。它是利用行逆程时间产生的很高的行逆程脉冲进行升压而得名。行输出变压器把这个行逆程脉冲经过升压与整流，得到几万伏显像管阳极需要的高压。也可以由此得到几千伏的加速极电压及 100V 左右的视放电源电压；显像管灯丝电压一般也由行输出变压器提供。这种供电方式的最大优点是，当行扫描电路出现故障时，高中压及灯丝电压也同时消失，因而保护了显像管。

现在彩色电视机中的行输出变压器都采用了一体化结构多极一次升压形式，如图 12－102 所示。图中，二极管采用玻璃封装，体积小、耐压高、热稳定性好，把几个二极管串入次级高压线圈之中，实现多级一次升压，效果很好。

在次级高压线圈中，交流电压被二极管分开，每个二极管只承受一组线圈上的高压，因此对每个二极管的耐压要求可以降低；整流后的直流电压叠加，可一次得到较高的电压。其中 C_1 为绕阻的分布电容，C_2为绕组对地分布电容。在 A 点得到第一组升压后的直流电压，分布电容 C_2接地，相当于交流电压 A 点接地，所以 VD_2只承受 L_2绕组的交流电压，B 点是两组直流电压的叠加，在 C 点可得到三组直流电压的叠加，而 C 点交流成份被 C_2对地短路，C 点交流成份对地为零电位。

彩色显像管聚焦电压为几千伏，可以从 A 点或 B 点引出，一般把聚焦电位器、加速极电压调节电位器与行输出变压器封装在一起，具有很好的绝缘性能，使用也很方便。

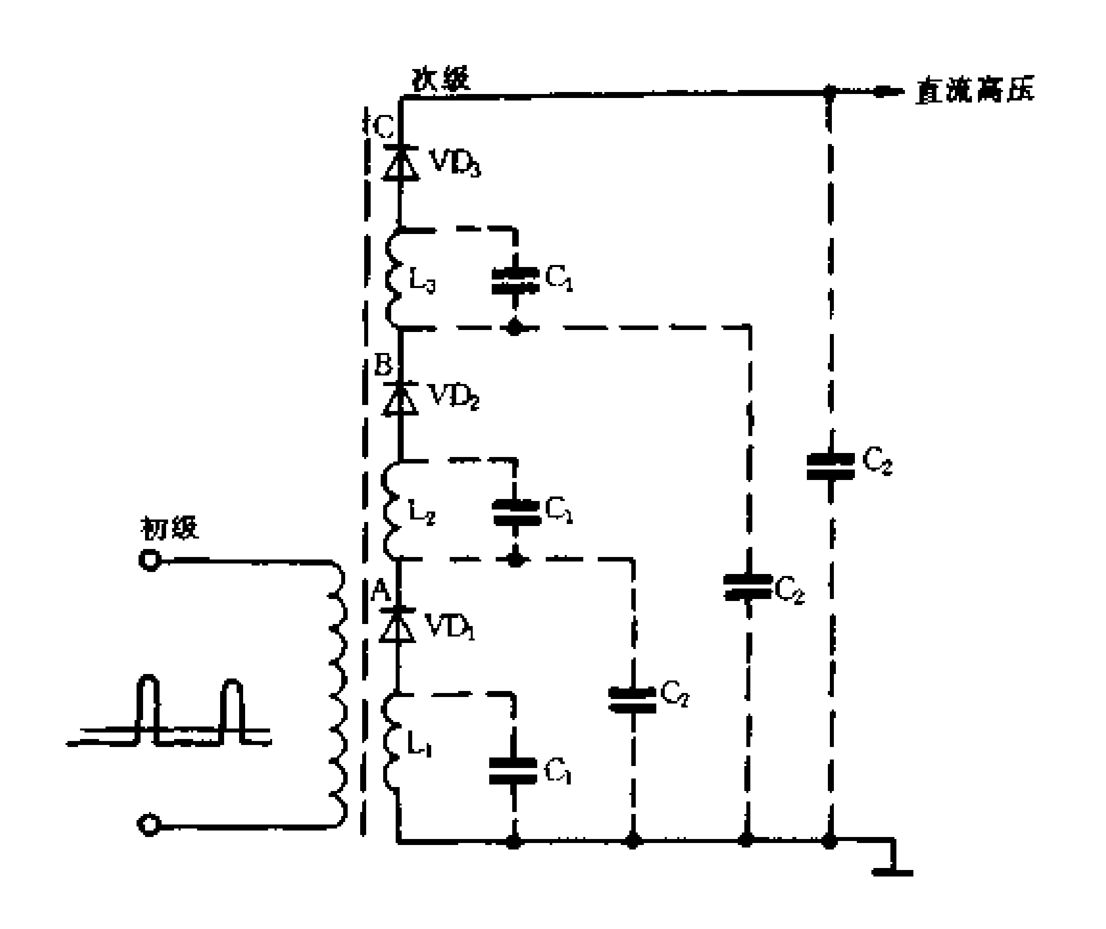


图 12-102　三级一次升压行输出变压器

(9) 行输出变压器的漏感及分布电容

前面介绍行输出变压器时，没有考虑漏感及分布电容的影响。行输出变压器工作于 15625Hz，工作频率高，所以漏感与分布电容是不能忽视的。考虑了漏感与分布电容的影响后，行输出变压器的等效电路如图 12-103 所示。

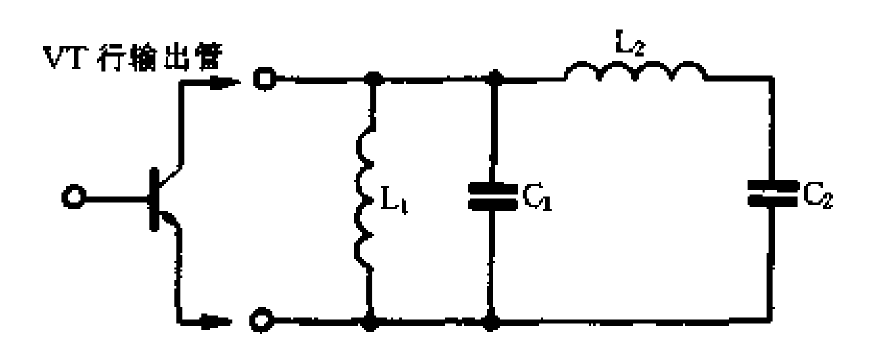


图 12-103　行输出变压器的等效电路

L_1为偏转线圈 L_y与行输出变压器初级并联后的等效电感，C_1为行逆程电容与分布电容之和，L_2为行输出变压器的漏感，C_2是行输出变压器次级等效分布电容。

在行扫逆程期间，除了偏转线圈 L_y和行逆程电容 C_1产生自由振荡外，L_2、C_2也会形成正弦振荡。因为漏感与分布电容数值较小，所以形成的振荡频率较高。形成的自由振荡频率 f_2为

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$$

由L_y、C_1形成的自由振荡频率 f_1为

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_y C_1}}$$

通常 $f_2 > f_1$。通过调节行输出变压器中的磁芯间隙及绕组形状，可改变分布电容 C_2及漏感 L_2的大小，从而使 f_1与 f_2有一个合适的比值。例如，当 $f_2 \approx 3f_1$ 时，称为三次调谐，当 $f_2 \approx 5f_1$时，称为五次调谐。图 12－104 所示波形为三次调谐的情况，图 12－104(a)为行输出变压器初级加在行管上集电极的电压波形，图 12－104(b)为行输出变压器次级高压绕组的电压波形。

这种奇次调谐，可以基本抑制漏感及分布电容在正程期间产生的有害振铃现象，同时在逆程期间也可获得有益的电压波形。例如，在图 12－104(a)中，在与行输出管连接的行输出变压器初级，由于三次调谐，合成电压波形峰值变低，使行管工作时承受的反压降低，次级电压峰值变高，有利于高压的提高。但这种三次调谐只适用于电子束电流较小的黑白电视机，一般彩色电视机要用到五次调谐或高次调谐。

(10) 行振荡电路

行振荡电路与场振荡电路同为间歇式振荡，但二者振荡频率不同，行振荡工作频率为 15625Hz，比场振荡的 50Hz 高出很

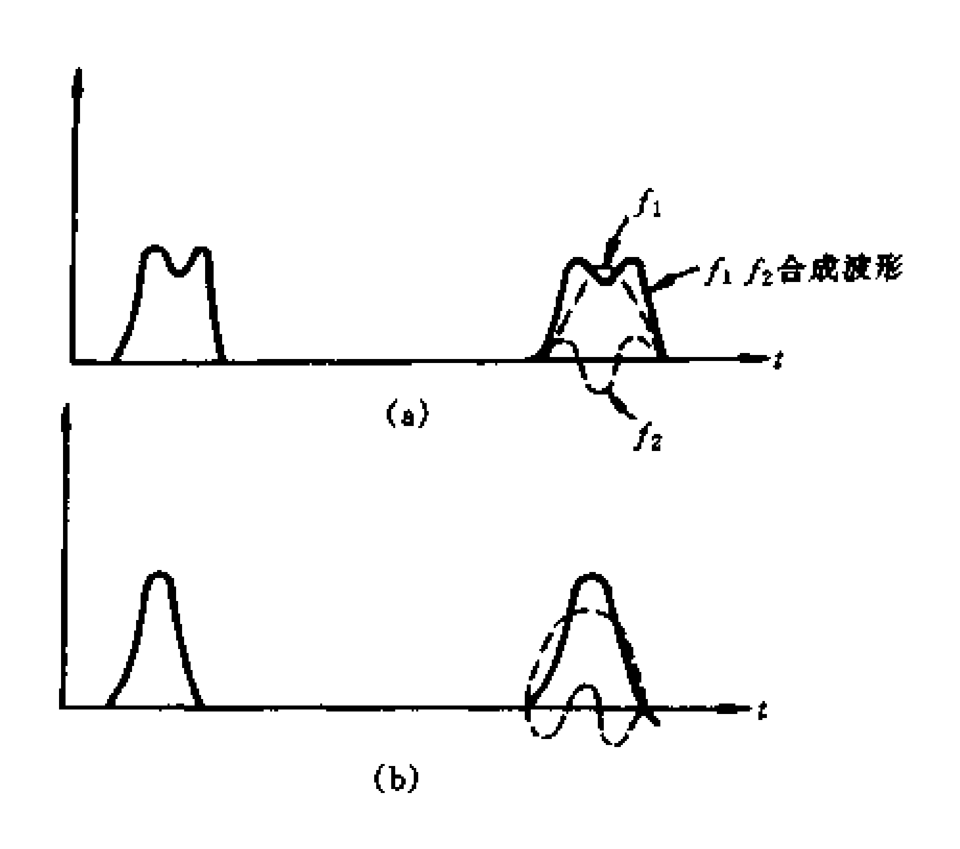


图 12－104　三次调谐行输出变压器初级电压波形

多;另外,行振荡同步方式的引入与场振荡也不相同,行振荡采用压控振荡器,由 AFPC 电路比较本机行振荡与电视台送来的行同步的差别后,送出一个直流控制电压,用以调节压控行频振荡器的频率与相位,使它跟踪正确的频率与相位。电原理图见图12－105。

一般行振荡管的导电类型选择与 AFC 电压极性控制特性有关,现以 PNP 型行振荡管为例说明其工作过程。

图 12－105(a)为行振荡基本电路,图中 V_{AFC}为 AFC 电路送来的控制电压,这个电压与行振荡器频率与电视台标准行同步之间的误差有关。电感 L_1、L_2之间在振荡管 VT 上产生正反馈,使晶体管工作于导通、截止与放大三种状态,具体分析如下:接通电源后,因为电源电压超过 V_{AFC},所以管子 be 结导通,有电流流过 L_2,并在 L_2上产生感生电动势 V_{L2},其方向是阻碍电流通过

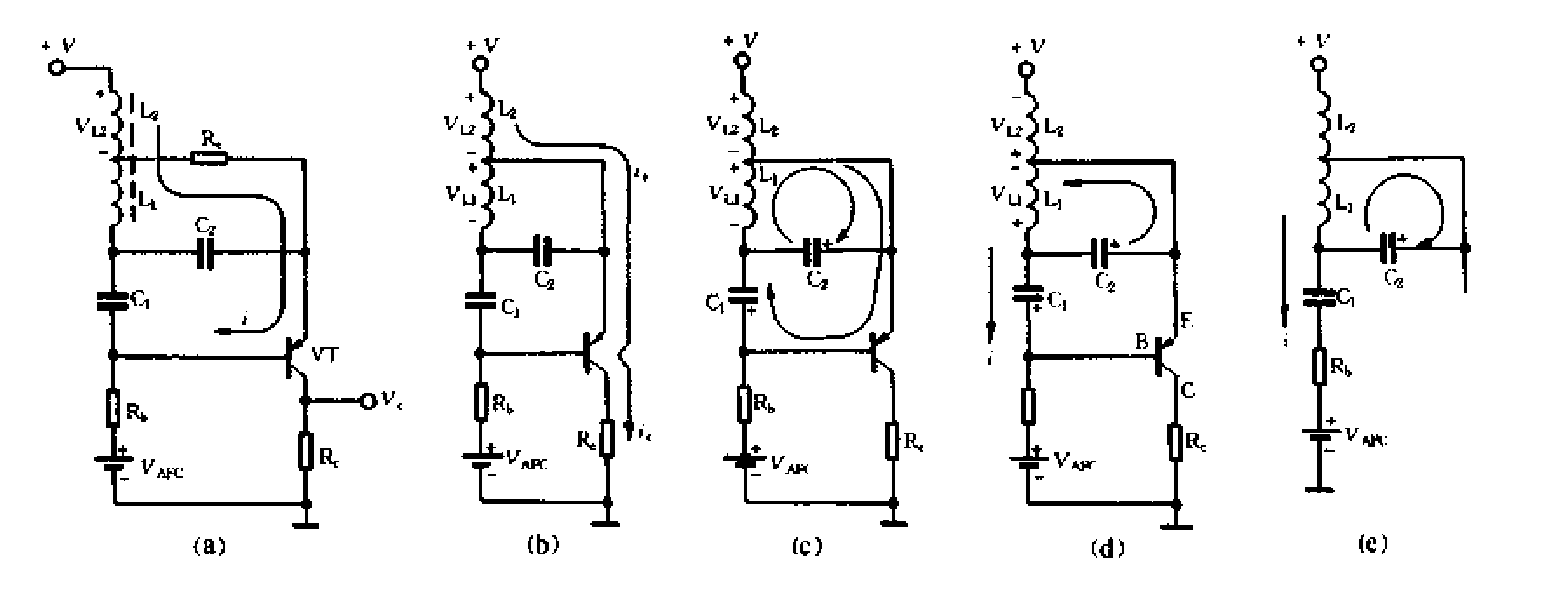


图 12－105　行振荡电路

的方向，为上正下负，见图 12－105(a)。由于 L_1、L_2的互感作用，在 L_1上也感应出电压 V_{L1}，极性为上正下负，这个电压正极加在 VT 的发射极，负极通过 C_1(C_1在瞬间为短路状态)加在 VT 基极，使 VT 进一步导通，即

$$\rightarrow i_e \uparrow \rightarrow V_{L2} \uparrow \rightarrow V_{L1} \uparrow \rightarrow V_b \downarrow \rightarrow i_b \uparrow$$

这是一个正反馈过程，晶体管 VT 由放大状态很快转为饱和导通，波形图见图 12－106 中 t_1时刻。因为 VT 导通，所以在 t_1时刻 V_c有一个上跳，在 VT 导通期间，维持饱和导通状态。感生电动势 V_{L1}对 C_2并通过 VT_1的 be 结对 C_1充电，充电极性如图 12－105(c)所示。随着时间的延长 VT 的 b、e 间正向偏压逐渐降低(因为 C_1充电使 V_b上升)，VT 逐渐退出饱和，在图 12－106 中，V_c波形是逐渐下降的。当到达 t_2时刻，管子进入放大状态，基极电流 i_b(也就是对 C_1充电的电流)下降引起 i_e下降时，L_2上的感应电动势 V_{L2}反极性，同时由于互感而使 V_{L1}也反极性，促使 VT 的 be 结反偏，即

$i_b \downarrow \rightarrow i_e \downarrow \rightarrow V_{L2}$(反向)$\rightarrow V_{L1}$(反向)$\rightarrow V_{be}$(反偏)$\rightarrow i_b \downarrow$振荡管 VT 由饱和状态经放大状态很快转为截止状态，形成 V_c电压下跳，见图 12－106 中，波形的 t_2时刻。此时晶体管 VT 的三个电极相当于断开，如图 12－105(d)所示。

在截止期间，VT 通道断开，电感与 C_2发生自由振荡，如图 12－105(d)和(e)所示。由于有 L_1、C_2的自由振荡，叠加在 V_b电压上，形成如图 12－106 中的 V_b波形，可以使 V_b电压不按虚线中的曲线变化，使 VT 截止期间的 V_b距导通点电平较远，不易造成误触发。同时 L_1、C_2的自由振荡达到 t_3时刻，C_2上充电极性为右正左负，同时 C_1放电基本完成，此时 VT 的 b、e 间建立起小的正偏电压，产生了较小的 i_b，从而引起下一周期的变化。

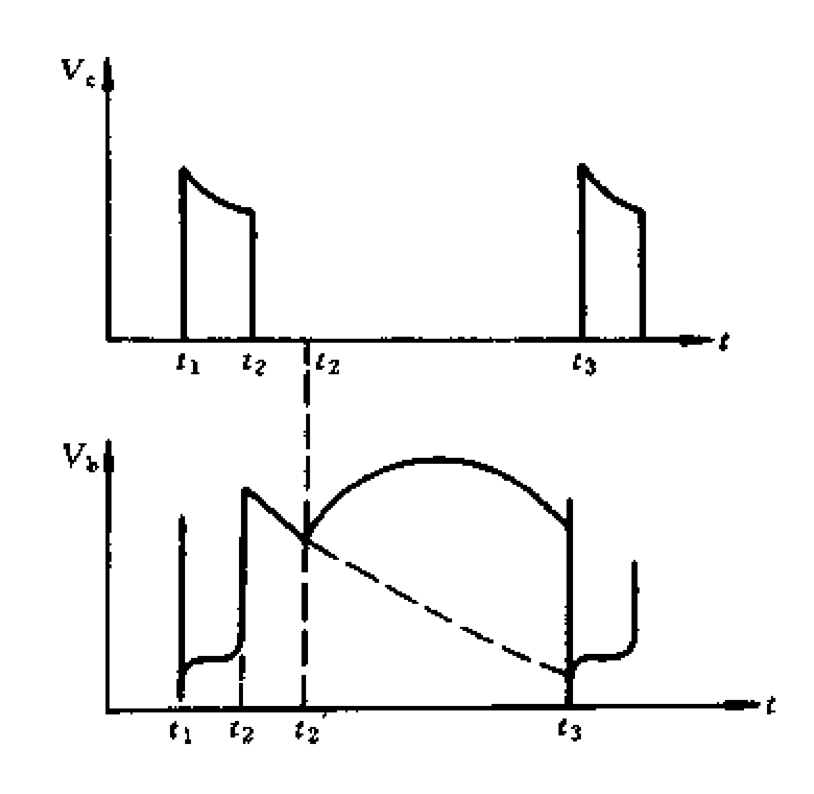


图 12－106　行振荡波形

影响振荡周期的因素有 L_1、L_2、C_1、C_2、R_b及 V_{AFC}等，在元器件参数已确定的情况下，电压 V_{AFC}是确定振荡周期的决定因素。V_{AFC}升高时，电源电压与 V_{AFC}之间的压差减小，由 +V 通过 L_1、L_2、R_6及 V_{AFC}向 C_1充电的电流 i 也会减小（见图 12－105），C_1上的电压变化速度变慢，VT 截止时间加长，振荡频率降低；反之，当 V_{AFC}下降时，振荡频率升高，这种特性称为负极性压控特性，如图 12－107 所示。使用 NPN 管的压控特性与 PNP 管的压控特性正好相反。

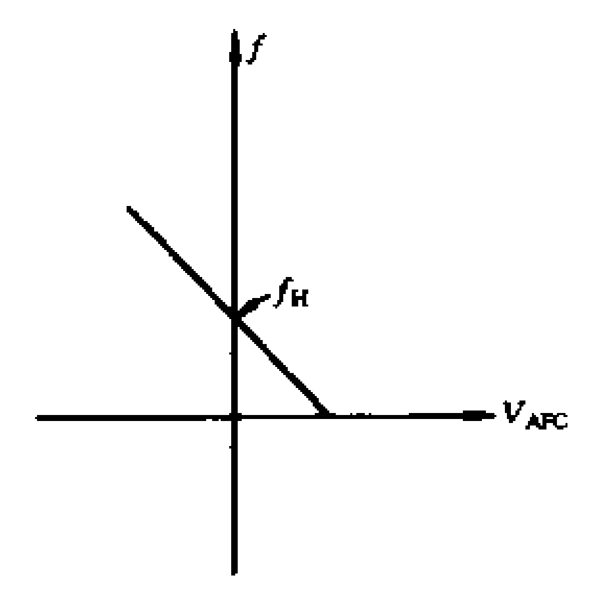


图 12－107　压控行振荡器的压控特性

（11）AFC 电路原理

使用压控行振荡器，必须

提供控制电压 V_{AFC}。这个控制电压由 AFC 电路提供，AFC 电路把行同步脉冲与本机产生的波形进行频率与相位比较后，产生的频率、相位误差以直流电压形式反映出来，并提供给压控行振荡器，使行振荡器纠正其误差，见图 12－108(a)所示。

图 12－108(a)中，VT 为分相管，它把正极性的行同步脉冲在集电极与发射极分解为相位相反、幅度相同的两个脉冲，以便与比较脉冲进行比较。C_1、C_2、R_1、R_2及 VD_1、VD_2为鉴相器，担负相位比较的任务；C_4为隔直耦合电容，把行逆程脉冲送到由 R_4、C_5组成的积分电路中，形成负向锯齿波，以便把它作为比较脉冲(见 P 点波形)。为了便于理解，把图 12－108(a)等效为图 12－108(b)的电路，用信号源代替这些电路。其中 V_A、V_B为行同步脉冲(方向相反)，V_P为本机振荡产生的比较脉冲，比较过程见图 12－109 所示。

比较过程可以分三种情况，首先是振荡频率与同步脉冲二者相等，即 $f=f_H$，如图 12－107。当正、负极性的行同步脉冲到来时，VD_1、VD_2同时导通，此时比较脉冲(负向锯齿波)恰好过零，所以在 C_1、C_2上充的电荷量完全相等(因为 $C_1=C_2$，$R_1=R_2$，VD_1、VD_2特性完全相同)。同步头过后，VD_1、VD_2截止，C_1通过 R_1、R_3、C_3放电，放电电流为 i_3；C_2通过 R_2、R_3、C_3放电，放电电流为 i_4，$i_3=i_4$，电流方向相反，互相抵消，所以此时 $V_{AFC}=0$，这样当 $f=f_H$时，$V_{AFC}=0$。

第二种情况为 $f>f_H$，见图 12－109(b)所示。在第二组同步头到来时，比较脉冲为高电平，此时通过 VD_1对 C_1的充电不但有同步头还有比较脉冲的高电平，因此 C_1上的电荷量超过 C_2上的电荷量，同步头过后，C_1、C_2放电，因为 C_1上充的电荷多，所以放电时 $i_3>i_4$，$V_{AFC}>0V$。

第三种情况是 $f<f_H$，见图 12－109(c)所示。同理，在同步头

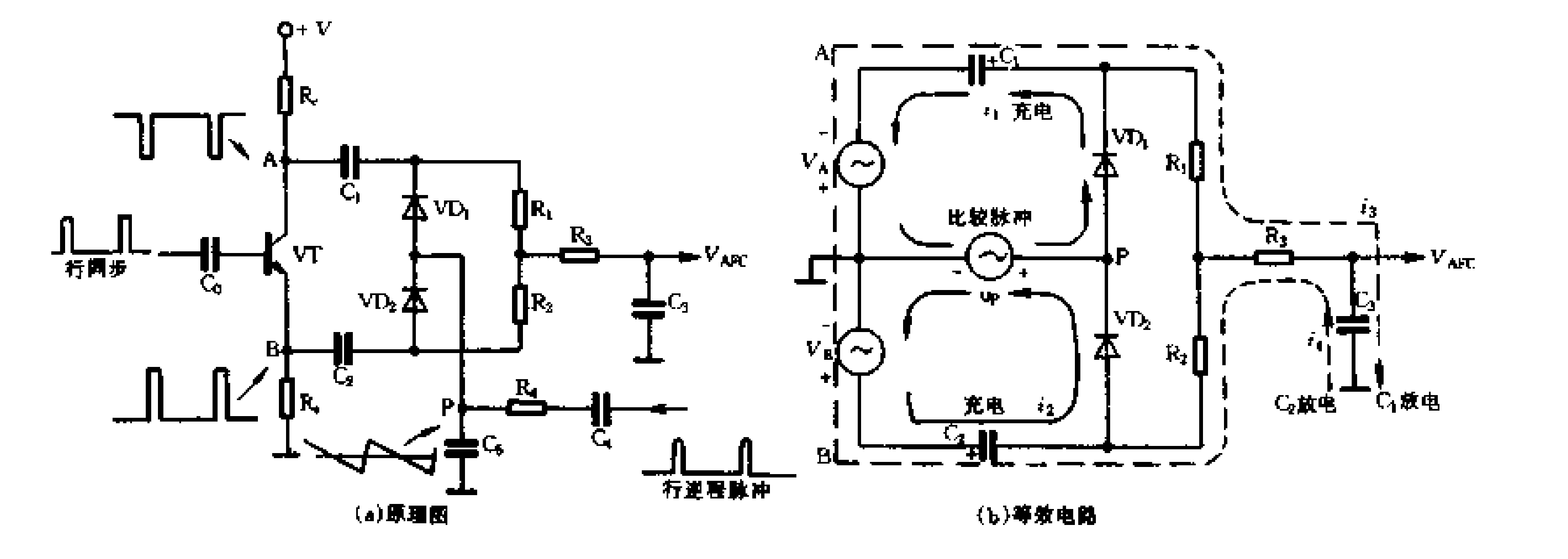


图 12-108 AFC电路及等效电路

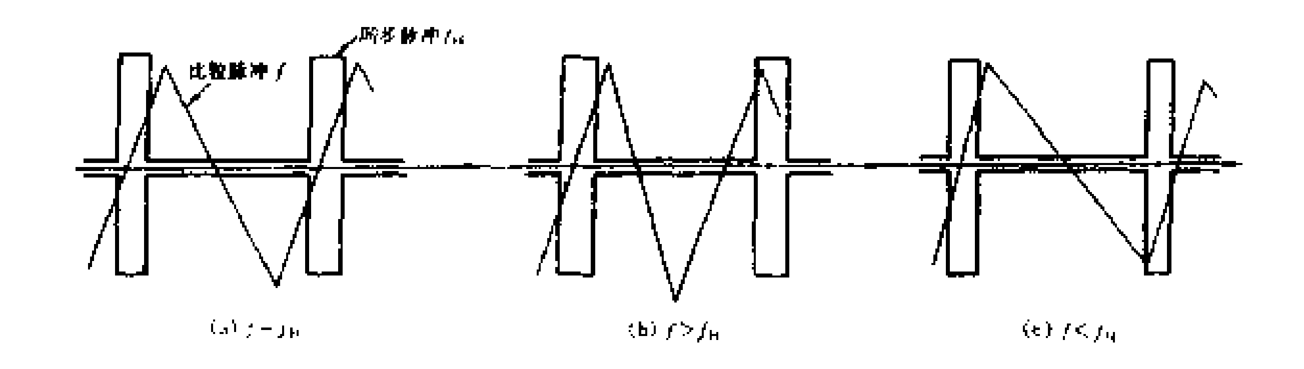


图 12-109　行同步与比较脉冲

到来时,比较脉冲为负,所以通过 VD_2对 C_2的充电量超过对 C_1的充电量,同步头过后,C_1、C_2放电时,放电电流 $i_4>i_3$所以 $V_{AFC}<0$。

具有这种特性的 AFC 电路,与前面介绍的负极压控特性的行振荡器配合后,工作过程如下:当本机行振荡频率过高时,即 $f>f_H$,则 AFC 电路输出一个比正常值高的 V_{AFC}加到压控行振荡电路,因为行振荡具有负极性控制特性,所以 V_{AFC}高时,振荡频率下降,达到了自动调节的目的;当本机行振荡频率变低时,控制过程与上述相反。总之,V_{AFC}电压总是促使行振荡的频率和相位与行同步的频率和相位趋于一致。

6. 大屏幕彩色电视机的行扫描电路

大屏幕彩色电视机的行扫描电路的振荡电路、AFC 电路与行推动等采用了集成电路,应用了晶体振荡电路,使频率相位更准确,控制精度更高,原理框图如图 12-110 所示。

在集成电路 TA8844N 中,包括了行振荡、AFC、行激励等电路。在㊲脚接入 504K 晶体,经内部电路的 32:1 分频产生行频定时脉冲,放大后由㊴脚输出行频开关脉冲,送到 VT_2行激励管,并经 T502 行推动变压器,激励行输出管 VT_1工作。VT_1行管集电极与发射极并联阻尼二极管 VD_1及行逆程电容,VT_1集电极连接行偏转线圈 L_y及行逆程变压器 T501。

同步信号经㉝脚输入,它代表了电视台发送的行同步信号;

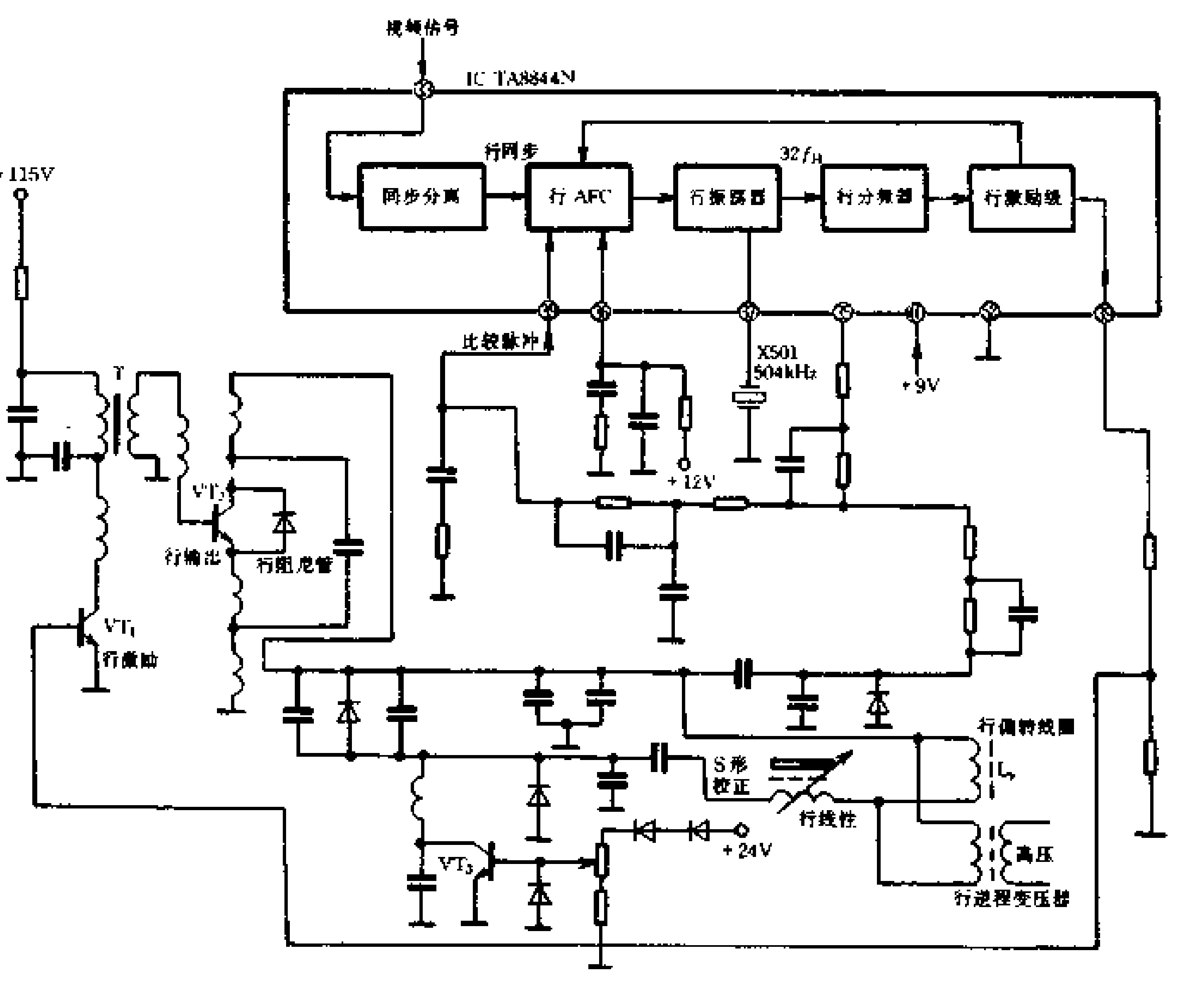


图 12－110　大屏幕彩色电视机的行扫描电路

行逆程脉冲经积分电路变为负向锯齿波电压，由㊳脚输入，作为比较脉冲；由内部反馈到 AFC 电路中的行频定时脉冲，代表了本机行振荡的频率与相位。

以上三种信号在 AFC 电路鉴相后产生一个代表频率、相位误差的直流电压，用以控制 $32f_H$(32 倍行频)振荡器，使本机行振荡的频率和相位与电视台的标准行同步信号基本一致。

VR_{509}为水平中心位置调节电位器，通过调整行逆程脉冲积分电路的时间常数，可以改变锯齿波电压的过零点，即调节了图像的水平中心位置。

六、彩色图像的重显

彩色电视机的显示器件目前应用最广泛的仍然是阴极射线管(又称 CRT)。彩色显像管从 50 年代发明以来，经历了三枪三束荫罩管、单枪三束栅网管到目前的单枪三束自会聚管。虽然目前大屏幕、超平面、高亮度显像管的品种繁多，但基本上还是在单枪三束自会聚管的基础上发展起来的。

1. 单枪三束自会聚彩色显像管

自会聚彩色显像管的结构如图 12－111 所示。

(1) 电子枪

电子枪的特点是三个阴极在水平方向排成一字形，其它各电极均为三个连成一体，三条电子束间距小，与特制的偏转线圈配合，可以实现三束电子束的自会聚；阴极采用了快速启动方式。阴极与灯丝靠的很近，阴极材料的改进，可使显像管开机后的 3s 内显示图像。电子枪的结构如图 12－112 所示。

(2) 荧光屏与荫罩板

荧光屏内表面涂有三基色(红、绿、蓝)的荧光粉，呈带状，在没有荧光粉的间隙处涂有黑色石墨，可吸收显像管内外散光，增

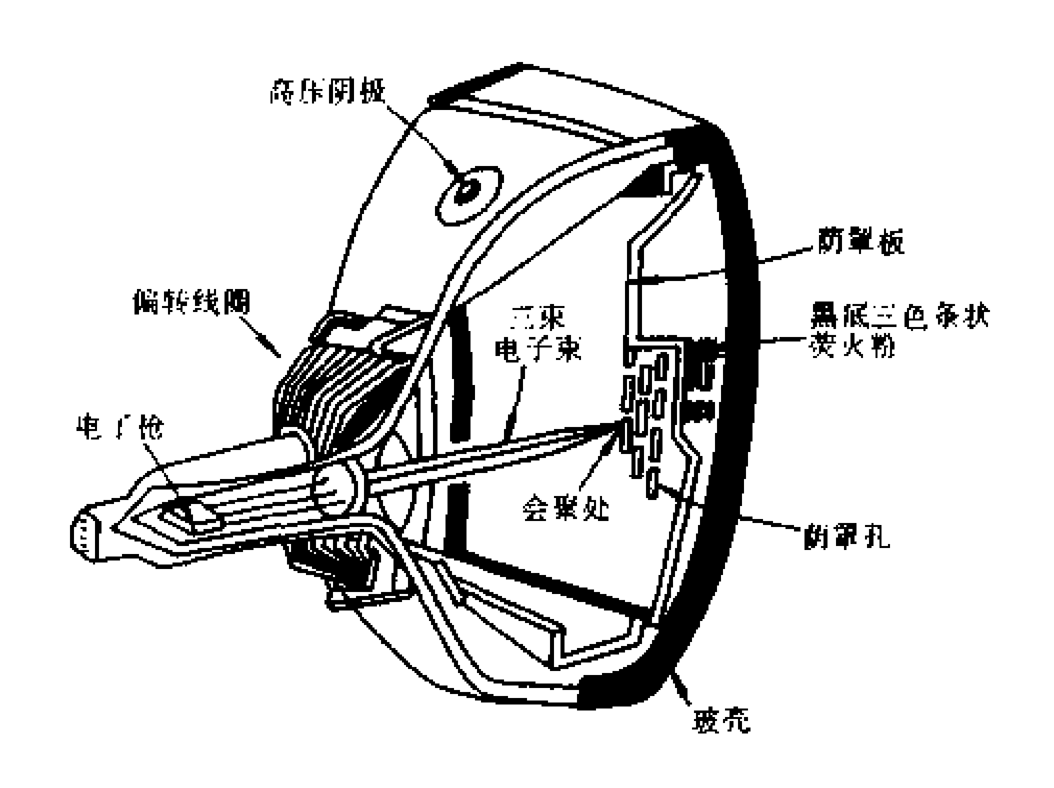


图 12-111　自会聚彩色显像管结构图

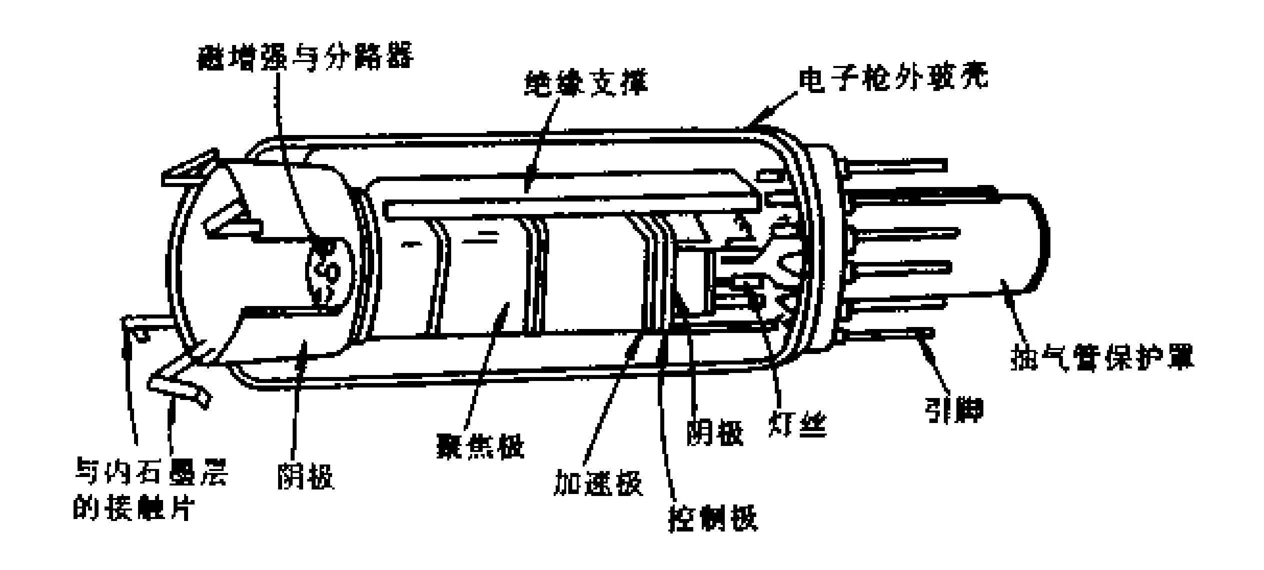
加对比度，称为黑底技术，这样可以使用透光好的玻璃，以增加荧光屏的亮度。荧光粉后面利用真空镀铝膜方法，吸收离子的轰击，保护荧光粉，也可增加亮度。

与三色荧光粉相对应，在荧光屏后面有一块很薄的钢板，上面打有约 40 万个小长孔，它的作用是使 R、G、B 三束电子准确轰击相对应的荧光粉条，如图 12-113 所示。

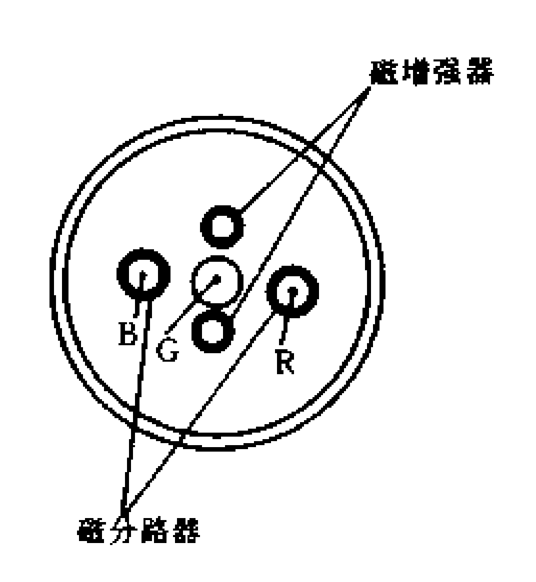
2. 会聚原理

彩色显像管有三束电子束，应分别打在相应的荧光粉像素上，为了确保其准确性，使用了荫罩板，使三束电子束在荫罩孔处会聚，多余的电子束则打在薄钢板上，避免造成彩色混乱。但由于工艺和结构方面的原因，很难保证三束电子束在整个屏幕上处处都能准确会聚。

会聚包括静会聚与动会聚，静会聚是指电子束不被偏转时，在荧光屏中心位置处的会聚；动会聚是指三束电子束偏转过程中在所到各点的会聚。一般静会聚依靠调节套在显像管管颈上



(a)电子枪结构



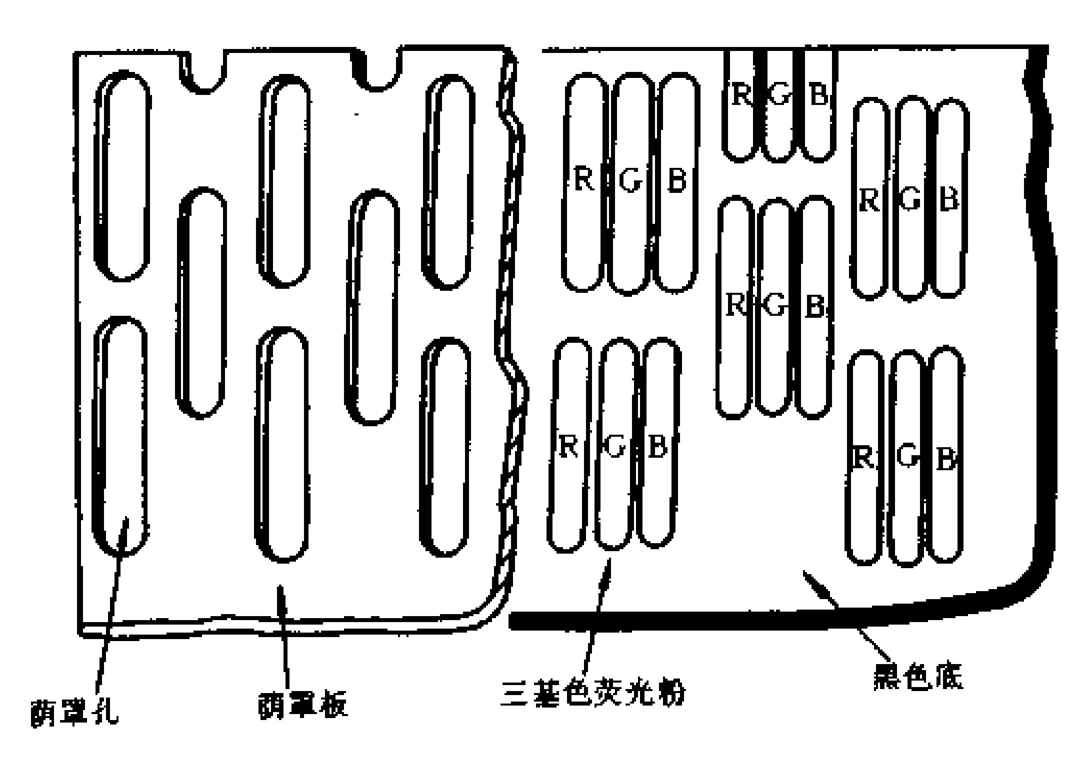
(b)磁增强器与磁分路器

图 12-112　电子枪结构示意图

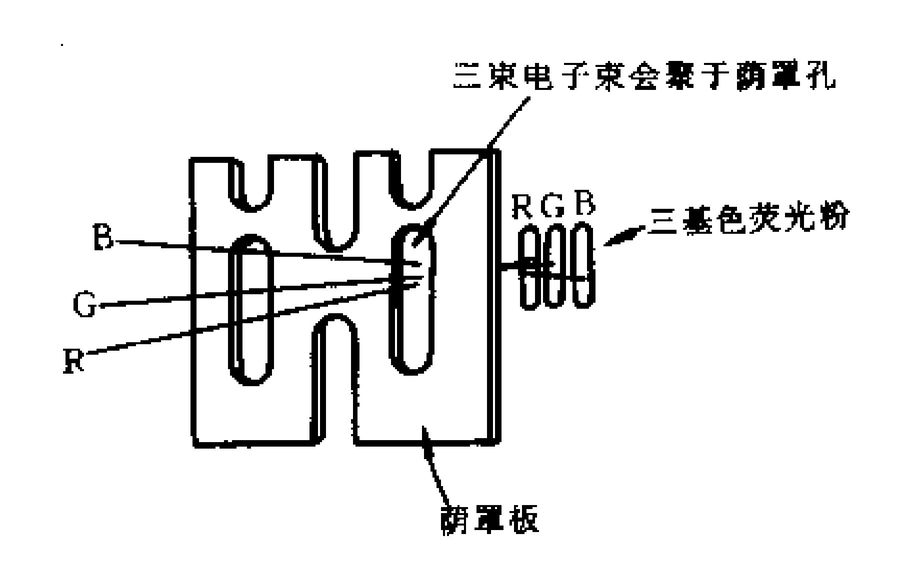
的几组磁环来完成，而动会聚的调整就要复杂得多。

(1) 失聚原因

由图 12-113(b)可以看到，三束电子束会聚于荫罩孔处，这是比较理想的情况。在静会聚正确的情况下，动会聚产生误差的原因是由显像管的结构引起的。图 12-114 示出了这种失聚



(a)荫罩板与荧光屏的相对位置

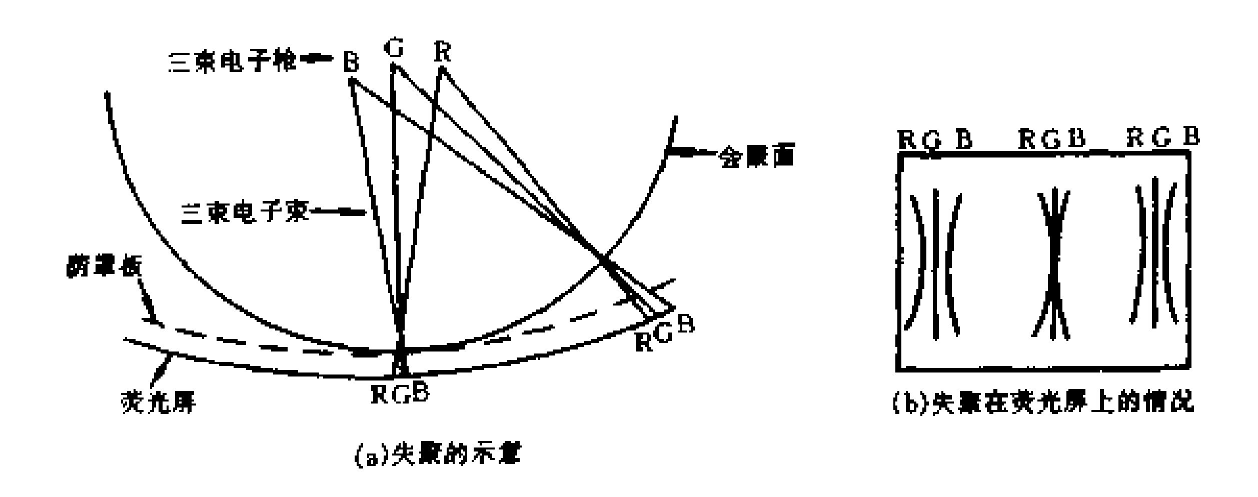


(b)荫罩板的会聚作用

图 12－113　荧光屏与荫罩板结构示意图

的原因。在屏幕中央部分会聚准确，但在扫描过程中，因为大屏幕彩色显像管的偏转中心与屏幕的曲率中心二者能完全重合

(屏幕越大，屏幕表面越平，这种误差越大)，在屏幕两侧造成失聚。



(a)失聚的示意

(b)失聚在荧光屏上的情况

图 12-114　动会聚的失真

(2) 会聚校正

由图 12-114 可见，因为结构性原因，在水平扫描的两侧，三束电子束分开；在垂直方向上，靠近屏幕上、下边缘部分的三束电子束分离更加严重。在屏幕中央部分，三束电子束于中间静会聚于一点，而在垂直方向的上下端，则 R、B 与 G 分离，为此，需要对电子束进行动会聚校正，使电子束在垂直方向的上下边缘产生附加的水平偏移。下面具体分析校正原理。

图 12-115(a)是场扫描上半场的情况。由动会聚校正型偏转线圈产生的场扫描磁力线已不是水平方向的直线，而是桶形磁力线。弯曲的磁力线会产生水平分量与垂直分量。磁场的水平分量使三条电子束向上偏转，垂直分量在蓝电子束与红电子束位置上方向相反，使蓝电子束向左偏移，红电子束向右偏移。图 12-115 是我们面对荧光屏而画出的，电子束是由纸面向外射出的，电子束与电流的方向相反，因此电流是流向纸面的。利用左手定则可以确定红色电子束偏转的方向(用左手手心对准磁力线束的方向，四指指向电流方向，大姆指方向即为电子束偏

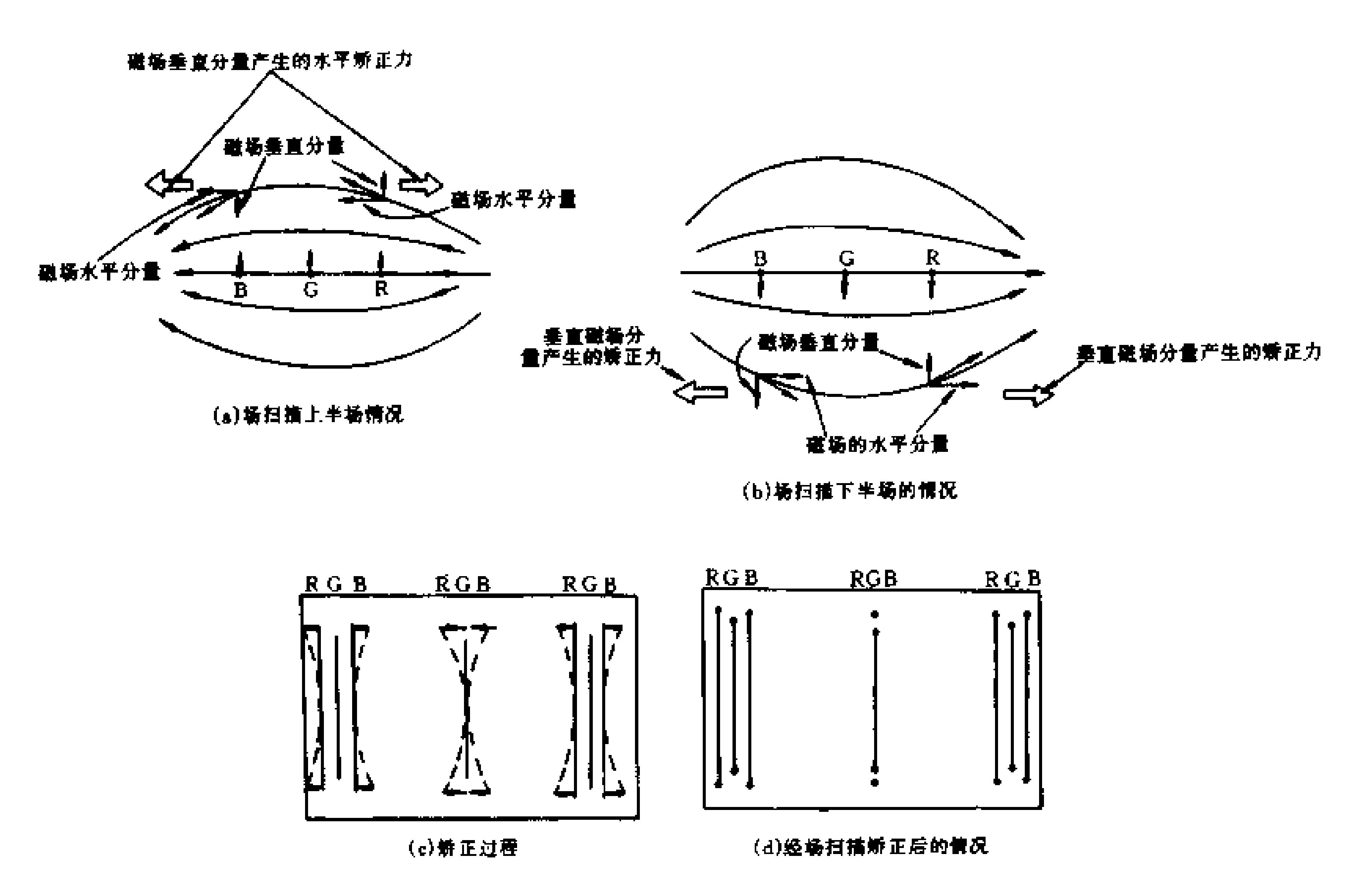


图 12-115　场偏转桶形磁场

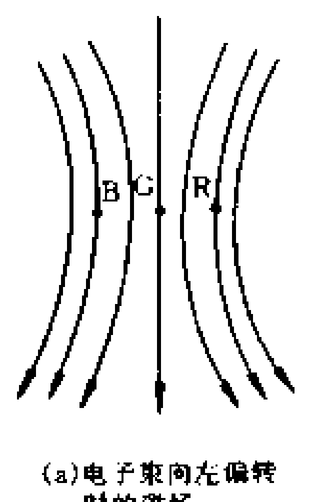
转方向)。在图 12－115(a)中，红电子束向右偏转，蓝色电子束向左偏转，结果使红、蓝电子束向绿电子束靠拢。因为三条电子束向荧光屏射束时，在荫罩孔处交叉，所以绿色仍在中间，红色与蓝色电子束左右交叉，图 12－115(c)上示出了上半部动会聚的矫正情况。在中央处，分开的电子束变成了一竖条；在屏幕左右两侧，经矫正后的电子束虽未合成一竖条，但已经变成三条竖直线。

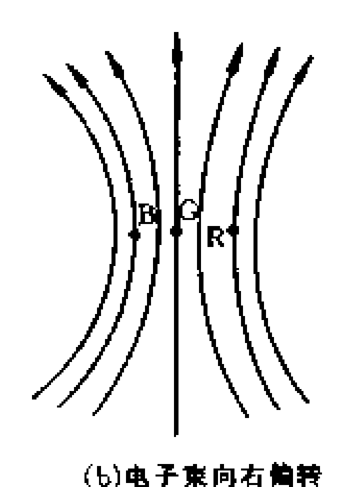
在场扫描的下半场，桶形电子束的形状未变，但桶形磁场的磁力线的方向改变了，矫正的原理同图 12－115(a)，矫正过程见图 12－115(b)。经过场偏转线圈桶形磁场的校正，可以使原来在垂直方向上弯曲的光栅变为竖直方向为直线的垂直光栅，见图 12－115(c)与(d)所示。需要注意的是，经过桶形磁场的校正，光栅变得笔直了，但在荧光屏左右边缘处的三色光栅并不重合，要解决这一问题还需要利用行偏转枕形磁场的会聚来校正。

(3) 行偏转枕形磁场会聚的校正作用

为了进一步实现三条电子束在屏幕边缘的会聚，应使行扫描磁场的磁力线呈现枕形曲线，如图 12－116 所示。

在图 12－116(a)及(b)中可以看出，枕形磁场的特点是左右两侧的磁力线比中间密集，所以磁场强度为中间弱两侧强。当电子束向左偏转时，蓝电子束向左扫描时，磁场强度加强，因此蓝色电子束偏转的角度大；而红色电子束向左偏转时，要经过中间较弱的磁场，因此被偏转的角度要小些。同理，电子束向右偏转的情况如图 12－116(b)所示。红色电子束向右偏转，磁场强度加强，因此红色电子束偏转角度大，而蓝色电子束要通过中间较弱的磁场，因此偏转角度较小。经行偏转枕形校正后的光栅见图 12－116(c)和(d)所示。在图 12－116(c)中，向左偏转较小的 R 与偏转较大的 B 重合；向右偏转较大的 R 与偏转较小的 B

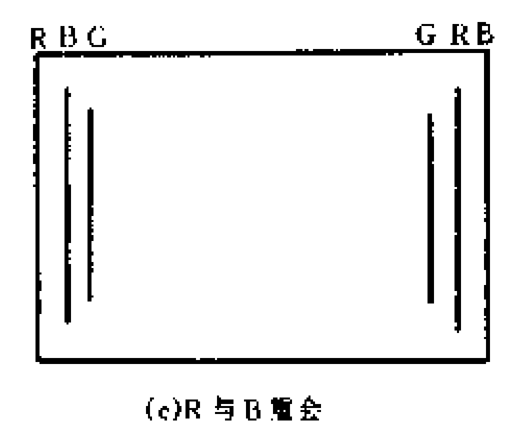




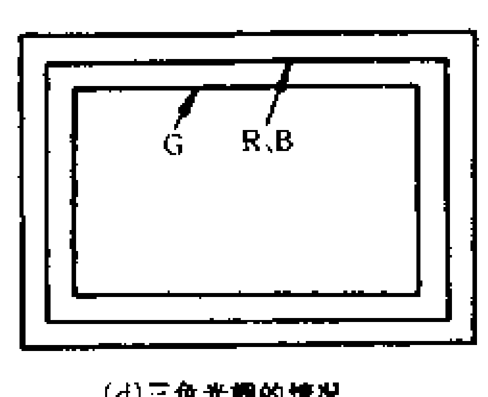


(a)电子束向左偏转时的磁场

(b)电子束向右偏转时的磁场



(c)R 与 B 重合



(d)三色光栅的情况

图 12-116 行偏转的枕形磁场会聚作用

重合;绿束 G 的偏转幅度比 R、B 末稍小些,形成图 12-118(d)的情形,此时三色光栅尚未完全重合。

(4) 磁增强器与磁分路器

为了校正绿光栅稍小、红与蓝光栅稍大的现象,在电子枪顶部安装了磁增强器与磁分路器。磁分路器是由高导磁率的磁环套在 R、B 电子束上,使电子束由磁环中间通过,由于磁环的屏蔽作用,减小了电子束的偏转量。磁增强器也由高导磁率磁环制成,放在绿色电子枪外面,上下各装一个,对行、场偏转磁场有增强作用,使绿色电子束偏转量加大。上述综合作用的结果,使

三色电子束完全重合，达到了动会聚的目的。

3. 黑白平衡

用彩色电视机接收黑白电视信号时，彩色显像管上的三色荧光粉都在发光，在观看时只显示黑白图像而不会出现彩色。因为彩色显像管有三条电子束，但它们的调制特性不同，三种颜色的荧光粉发光效率和光电特性也不相同，所以在合适比例的三基色电压输入情况下，屏幕颜色并不一定为黑白色，可能会偏于某种颜色，这就需要调节黑白平衡电路。

(1) 黑平衡

彩色显像管三个电子枪的调制特性不可能完全相同，各电子枪调制曲线的截止电压(使电子束完全关断的那一点电压称为截止电压)不同，造成在低亮度情况下黑白图像带有彩色的情况。一般通过改变三个末级视放管的发射极电流，以改变显像管三个阴极的直流电位，使三基色视频信号的消隐电平恰好加在三个电子枪调制特性的三个截止电压处，如图 12－117 所示。此时，三个基色的视频信号同时加在彩色显像管阴极上时，三个基色电流将同时出现，达到黑平衡的目的。

(2) 白平衡调节

因为三个电子枪的调制特性不完全相同，在重显高亮度黑白图像时，屏幕上会出现某些彩色。为了防止出现这种情况，可以通过改变三基色激励信号幅度大小的比例，来补偿三个电子枪调制特性及三种荧光粉发光特性的不同。一般情况下，只需调节两个基色信号的幅度即可达到目的。

4. 基色矩阵及视放电路

经过同步检波器的解调，从 V 信号中得到了 R－Y 色差信号，从 U 信号中得到了 B－Y 色差信号，这两个色差信号还不能直接驱动显像管，还需要从 B－Y、R－Y 信号中经矩阵变换得到

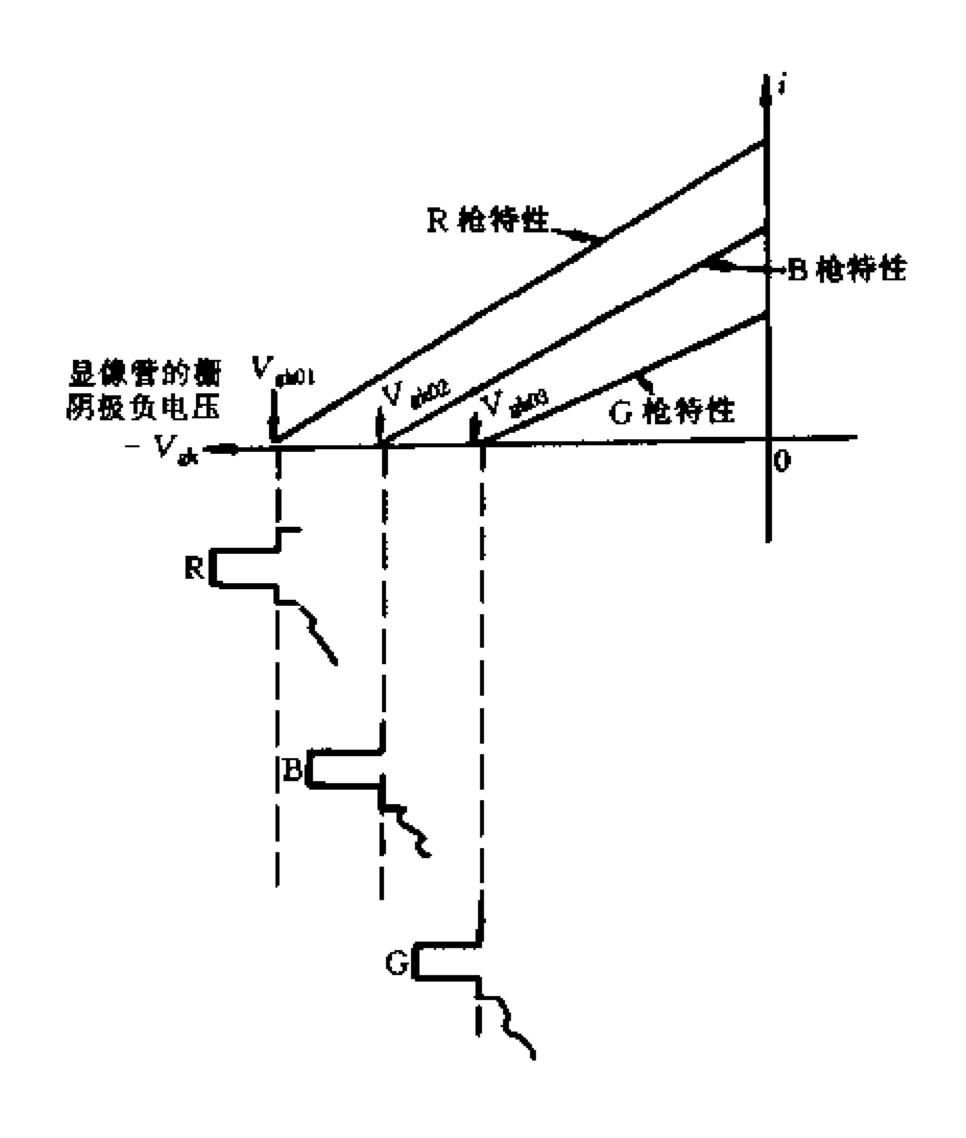


图 12-117 黑平衡调节

另一个色差信号 G-Y,再用三个色差信号与亮度信号 Y 相加,得到三基色信号 R、G、B,用它们去控制显像管的栅阴极电压,从而改变红、绿、蓝三射束电流的强弱,使三色荧光粉按不同比例发光。

(1) 从 R-Y、B-Y 得到 G-Y 的矩阵电路

由本章第一节中对色差信号的分析可知,

$$G-Y=-[0.51(R-Y)+0.19(B-Y)]$$

由上式可知,只需将 R-Y 与 B-Y 按 0.51/0.19=2.7/1 的比例混合,然后再倒相,就可以得到 G-Y 色差信号。为此,设计出相应的电路,如图 12-118 所示。

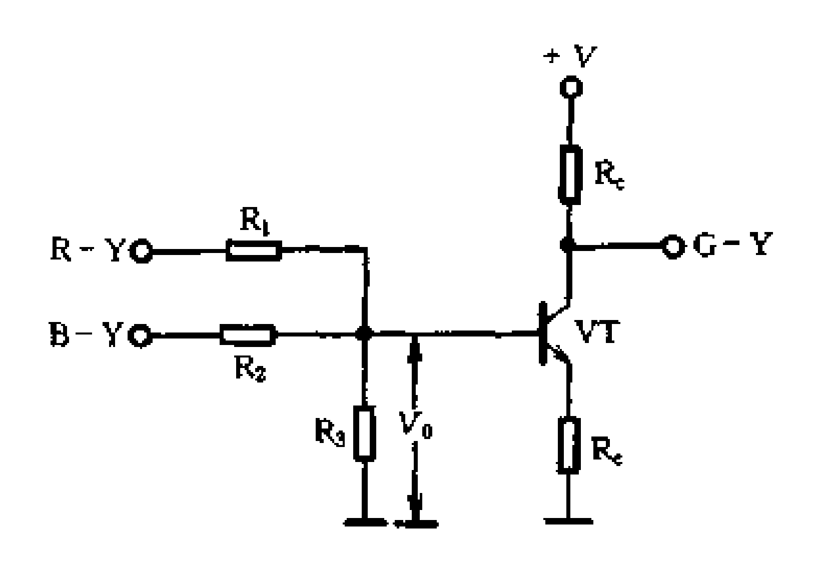


图 12-118　G-Y 色差矩阵

当 R-Y、B-Y 信号源内阻远远小于电阻 R_1、R_2、R_3 及晶体管 VT 的输入电阻时，根据叠加原理可得

$$V_o \approx \frac{R_3}{R_1+R_3}(\mathrm{R-Y}) + \frac{R_3}{R_2+R_3}(\mathrm{B-Y})$$

$$\approx \frac{R_3}{R_1}(\mathrm{R-Y}) + \frac{R_3}{R_2}(\mathrm{B-Y})$$

$$当 \frac{R_3}{R_1}\Big/\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{2.7}{1} 时, V_o \approx -(\mathrm{G-Y})$$

经 VT 倒相放大，在集电极输出就是 G-Y。

(2) 基色矩阵

利用亮度信号 Y 与三个色差信号 R-Y、B-Y、G-Y 相加即可得到三基色信号。

一般把色差信号加到视放管 VT 的基极，把亮度信号加到视放管 VT 的发射极，经视放管倒相放大后，得到正极性的基色信号，其等效电路如图 12-119 所示。

在图 12-119(b)中，色差信号加在视放管 VT_1 基极，亮度信号 -Y 加到 VT_2 的基极，在负载电阻 R_C 上，G-Y 被倒相变成

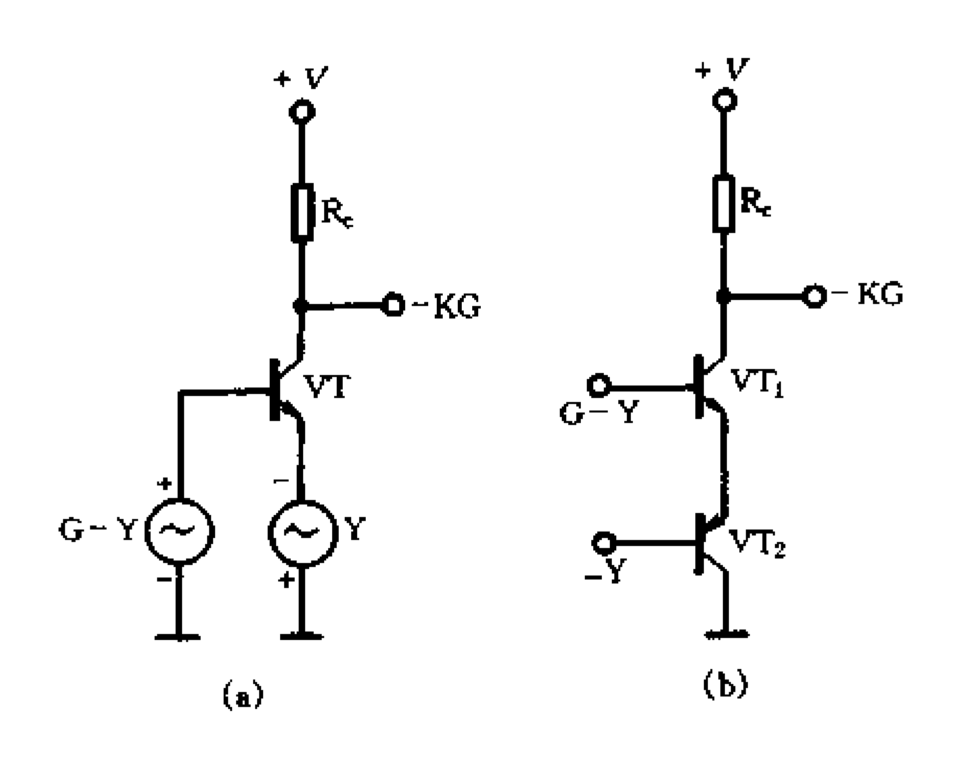


图 12-119　基色矩阵等效电路

Y-G并与-Y 相加(因为 VT_2 为 PNP 管,发射极输出与基极输入同相),在 R_C 上将得到被放大 K 倍的基色信号-KG。

这种串联放大混合方式的优点是,1.3MHz 带宽的色差信号由 VT_1 基极加入,为共发射极组态;6MHz 带宽的亮度信号则由 VT_1 发射极接入,是共基极组态。由于共基极接法的频率特性较好,所以这种电路能适应两种不同带宽的信号。

(3) 视放电路

图 12-120 绘出了彩色电视机视放电路。由解码矩阵送来的三基色色差信号 R-Y、B-Y、G-Y 及亮度信号 Y,分别送入三个视放级的基极和发射极。三个视放管把色差信号与亮度信号相加、放大并倒相后,送到彩色显像管的三个阴极。电位器 VR_1、VR_2、VR_3 可以改变三个视放管的直流工作点,实现黑平衡调节。电位器 VR_4、VR_5 为白电平调节,改变它们的值可以改变 VT_2 的负反馈量大小,从而控制 R 和 G 的输出幅度,使三基色比

例合适，达到白平衡。

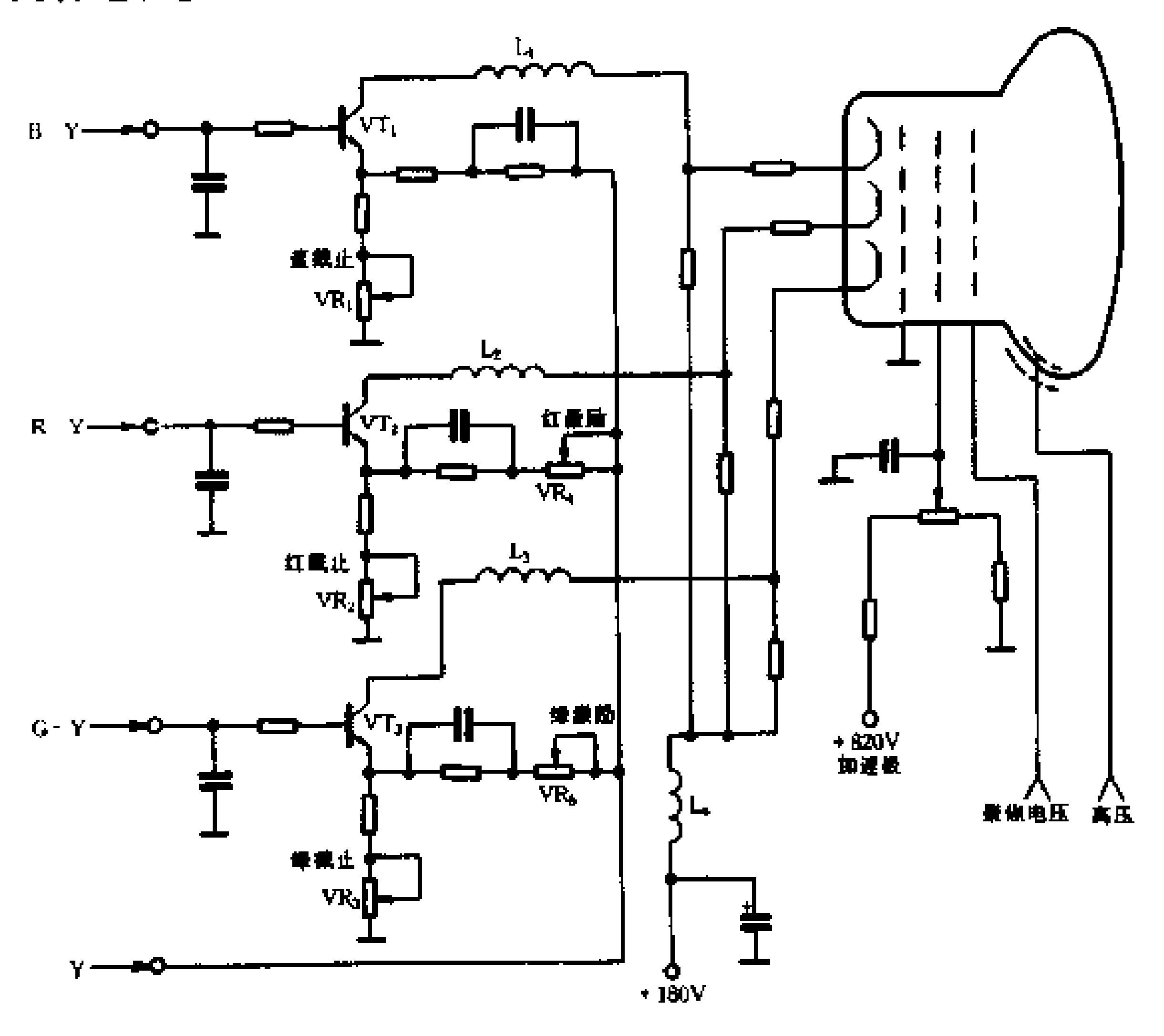


图 12-120 彩色电视机的末级视放电路

第十三章
录像机与摄像机

目前，摄像和录像设备不仅用于电视广播，在生产、科研、国防、公安、交通、教育、娱乐等领域也得到越来越广泛的应用。家用录像机在我国也已相当普及，家用摄像机，摄录一体机也开始进入家庭。

本章从实用角度出发，讲述录像机和摄像机的基本构成和基本工作原理。由于录像机和摄像机的构造甚为复杂，本章不可能进行更深入地研讨。学习本章之前，应先阅读录音机、黑白电视机和彩色电视机的内容。在这里，我们认为读者已经掌握了磁性记录的基本原理和彩色电视的原理知识。

第一节　磁带录像的技术基础

一、概述

磁带录像机简称录像机，是利用磁性记录原理和电磁感应原理来记录和重放图像信号与声音信号的电子设备。它的英文缩写是 VTR(Video Tape Recorder)，因此录像机又叫做视频磁带记录器。

1956 年，美国安培(Ampex)公司研制出第一台可供实用的黑白(后来发展为彩色)磁带录像机，到现在历时不过 35 年。录

像技术的发展很快，特别是70年代中期以后，大规模集成电路制作技术的飞速发展与普及，促进了录像机制作技术的迅速提高。随着各种新型半导体器件，特别是微处理器及单片机在录像机中的相继使用，使得录像机实现了小型化，多功能。在此期间，视频磁头及录像磁带的制作技术也日趋完善，使录像机的性能不断提高与完善。

现在录像机的型号很多，性能各异，尚无统一的分类方法。按使用录像磁带的宽度可分为2英寸、1英寸、3/4英寸、1/2英寸、1/4英寸及8mm录像机(1英寸=25.4mm，下同)。按用途可分为广播用录像机、专业用录像机、家庭用录像机等。按使用功能可分为便携式录像机、编辑用录像机、复制用录像机、放像机等四类。此外，还有按视频磁头的个数、适用的制式、磁带的卷绕方式等进行分类的。上述各种分类方法，都是从录像机的不同角度出发，突出某个特点来划分的。实际上，经常使用的分类方法是根据所用磁带的宽度来称呼录像机的，如大1/2英寸录像机、3/4英寸录像机等等。

二、录像机的格式标准

录像机格式的基本含义，是为了使录像机在录、放磁带时具有互换性而规定的技术规范。在国际电工委员会(IEC)所制定的录像机格式标准中，详细规定了对互换性有影响的各种技术参数，其中包括：磁迹位形图、电气系统参数、机械走带系统参数等等。不同格式的录像机没有互换性，即不能交换录、放节目磁带。

在家用录像机中，有四种被IEC承认的格式标准，它们是VHS、BETA(β)、V20000和8mm录像机。目前我国家庭广泛使用的是VHS格式PAL-D制式的录像机，俗称："大1/2英寸"录像机，其中"大"字是指VHS录像机所用磁带盒的外形尺寸，比BE-

TA格式录像机所用磁带盒的外形尺寸稍大一些。由于BETA录像机所用磁带盒尺寸稍小，故俗称BETA格式录像机为"小1/2英寸"录像机。"1/2英寸"是指这两种格式录像机所用录像磁带的宽度都是1/2英寸即12.65mm

VHS(PAL-D制)与BETA(PAL-D制)两种格式的录像机，其录像磁带不能互换的原因，除带盒尺寸大小不同外，主要是由于这两种格式录像机的磁迹位形、电气系统参数、机械走带系统参数等均存在很大差异。下表给出了这两种格式录像机的主要技术参数，以供比较。

项目名称	技术规定	
	VHS(PAL制式)	BETA(PAL制式)
扫描形式	两磁头螺旋扫描方式	两磁头螺旋扫描方式
磁带宽度	1/2英寸，即12.65mm	1/2英寸，即12.65mm
磁带厚度	20μm	20μm
磁带型号	E180(3小时)，E240(4小时)	L750(3小时)，L830(4小时)
带盒尺寸	25×104×188(mm)	25×96×156(mm)
磁鼓直径	62mm	74.487mm
走带速度	23.39mm/s	18.7mm/s
头带相对速度	4.84m/s	5.83m/s
磁头方位角	±6°	±7°
亮度信号记录	方位角，调频记录方式	方位角，调频记录方式
亮度信号频偏范围	3.8～4.8MHz	3.8～5.2MHz
色度信号记录	降频方式，逐行倒相记录	降频方式，逐行倒相记录
色度信号降频频率	626.9kHz	683kHz
图像清晰度	280线(黑白)，250线(彩色)	280线(黑白)，260线(彩色)
图像信噪比	43dB	43dB
声音频响	50Hz～10kHz	50Hz～8kHz
声音信噪比	40dB	40dB
Hi-Fi声音频响	20Hz～20kHz	20Hz～20kHz
Hi-Fi方式声音动态范围	80dB	80dB
带头带尾检测方法	光敏检测法	电感检测法

三、视频记录的特点

音频信号在录放过程中采取了两个关键性措施，即利用加偏磁克服波形非线性失真；利用加均衡电路克服幅频特性失真。录像技术是在录音技术的基础上发展起来的，但图像信号与声音信号有着很大的差别，仅用上述措施来录放图像信号是不能奏效的。录像技术要比录音技术复杂得多。下面对声音信号和图像信号作一个对比。

	上限频率	频带宽度	相位要求
声音	15kHz～20kHz	50Hz～20kHz	不严格
图像	5MHz～6MHz	约 0Hz～6MHz	很严格，彩色图像相位要求更严格

通过对比可以看出视频信号有下述三个基本特点，必须采取相应的措施才能达到录放图像信号的目的。

（1）视频信号的上限频率高达 6MHz，是音频信号上限频率（20kHz）的 300 倍，这样高的上限频率无法用音频的录放方式来录放。因此采用了所谓螺旋扫描的录放方式，借以提高磁头与磁带间的相对运动速度。

（2）视频信号的相对频带宽度，或者说它的倍频程，远高于音频信号的相对带宽或倍频程。在磁性录放过程中，重放信号幅度在低频频率段具有 6dB/倍频程的上升特性，按照这个特性，即使视频信号的频率范围缩小到 25Hz～5MHz 的范围以内，其重放信号幅度变化也将相差 100dB 以上。尽管由于各种高频损失会使高频端输出电压有所下降，但由于低频端输出电压太低，校正电路也是无能为力的，这样低频端的弱信号就会被淹没在噪声之中。为此，在 VHS 家用录像机中，采用了对亮度信号进行窄带调频的记录方式，对色度信号进行降低副载波频率的处理，通常称这种记录方式为亮度调频、色度降频记录方式。

(3) 视频信号的录放对相位要求十分严格，主要表现在两个方面：①为了保证重放的图像稳定、清晰，要求各行、场的同步信号都记录在规定的位置上，在重放时磁头扫描磁迹的速度和相位应和记录时一致。为此，不仅要求磁头、磁带扫描系统具有很高的机械加工精度，而且还需要一套对磁头磁带机械系统进行自动控制的电子电路系统，把磁头磁带之间相对运动的速度误差和相位误差自动地控制在所要求精度的范围内，该控制系统称为伺服系统。②为了保证重放彩色图像的色调逼真，对色度副载波的相位失真提出了很高的要求，对于 NTSC 制应小于 ±12°；对于 PAL 制应小于 ±40°。为了满足色调不失真的要求，家用录像机采用的是较简单的伪时基校正方案，使时基误差减少至 10ns 左右，使家用录像机能重现色调正确的彩色图像。

四、录像机的构成

在具体介绍录像机各部分的作用和工作原理之前，先粗略地了解一下录像机的基本构成，以使读者对录像机有一个整体的认识。图 13－1 是家用录像机基本构成的方框图，它主要包括录像磁带、走带系统、接收系统、视频记录和重放系统、音频记录和重放系统、伺服系统、控制系统（包括电路控制系统和机械控制系统）射频变换器、电源等九部分。后面将一一予以介绍。

五、视频磁带和视频磁头

在磁带录像中，视频磁带和视频磁头的质量优劣对录放质量和记录密度都有着直接的影响，因此对磁头和磁带的性能提出了很高的要求。

1. 视频磁带

家用录像机的视频磁带与音频磁带的结构大致相同。视频

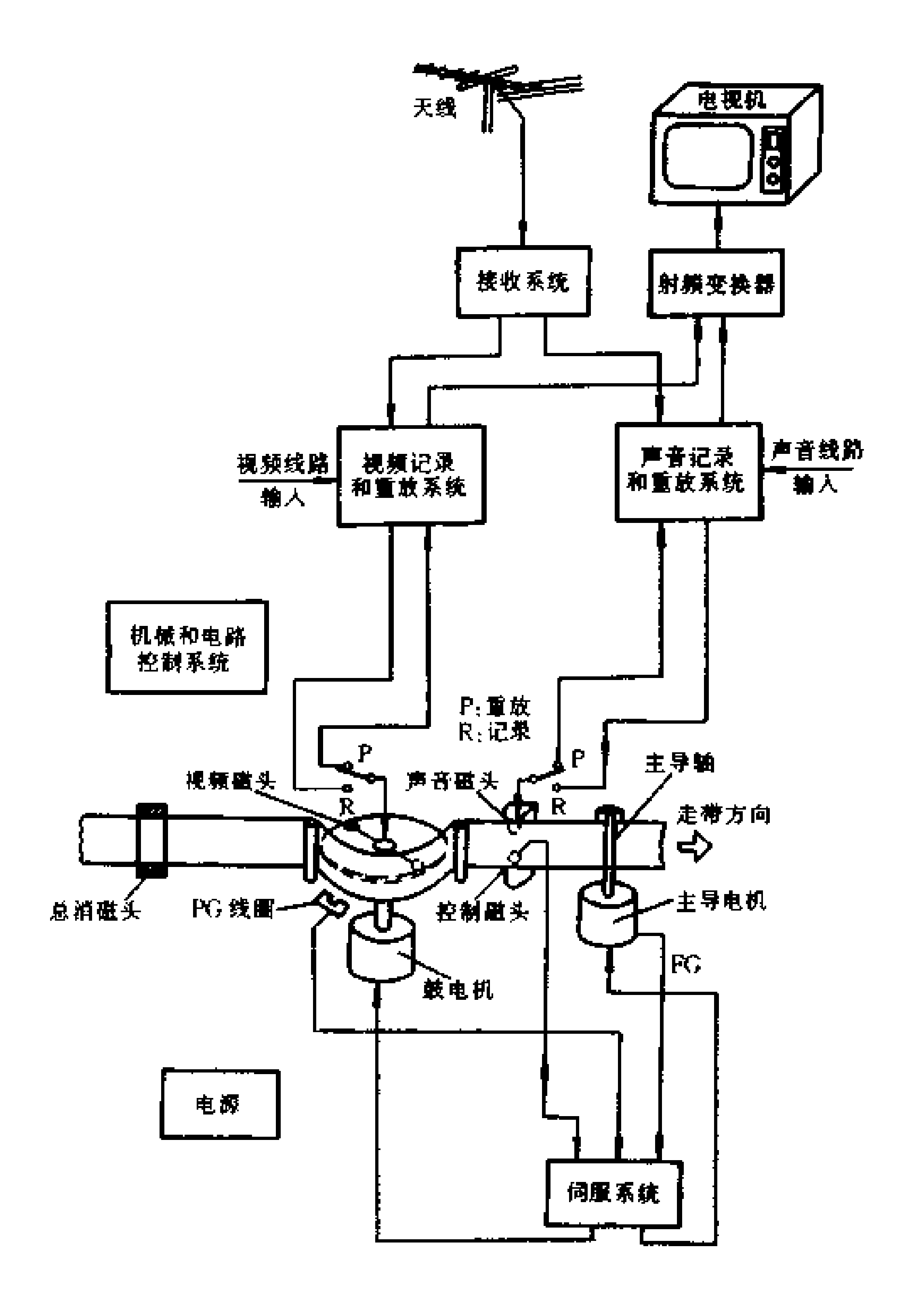


图 13-1 录像机结构方框图

磁带的带基由聚苯乙烯或聚氯乙烯制成，厚度一般为 10μm～25μm，这些合成材料制成的带基可以达到所需要的拉伸强度，

通常家用1/2in(英寸)的视频磁带,在受到2kg~2.5kg瞬间拉力时,不会产生明显的拉伸。此外还要求带基的厚度均匀,耐热耐湿特性好。

磁粉层的厚度一般为4μm~13μm,磁粉颗粒呈椭圆形,长短比约为六比一。磁粉层的表面要求非常平滑,表面起伏小于0.1μm,这样才能保证磁头和磁带之间接触良好。若磁粉不够平滑,在磁带通过磁头缝隙时,就会抖动,产生干扰分量,并叠加到有用的信号上,这种抖动造成的干扰杂波称为调制杂波。

磁带盒是整个走带机构的一个组成部分,要求加工质量较高,运转灵活。使用时应轻拿轻放,避免摔碰。存放时应竖直放置,不能使带盒受到挤压,远离热源,切勿受潮,录有节目的磁带应远离强磁场。

2. 视频磁头

视频磁头是录像机工作时进行电一磁,磁一电转换的关键器件,其性能好坏直接影响着录放的质量。视频磁头和音频磁头的工作原理是相同的,但由于两者的工作方式及录放信号的频率均不相同,因此两种磁头的结构形式存在着很大的差异。

(1) 制作视频磁头的材料。制作视频磁头的磁性材料应该具有很高的耐磨损性能,导磁率高并且在数MHz频带内导磁率变化小,剩磁强度小、电阻率高的软磁材料。电阻率高以减小涡流损失。用单晶铁氧体或热压铁氧体制作的单体视频磁头*具有录放效率高、涡流损失小、易于加工等优点,家用录像机多使用这种铁氧体磁头。

(2) 视频磁头的构成。家用录像机所用的视频磁头和音频磁头一样,是由开有缝隙的磁芯和线圈所构成的,但两种磁头所

* 只用一种磁性材料制作的磁头称为单体磁头;用两种或两种以上磁性材料制作的磁头称为复合磁头。家用录像机均使用单体磁头。

用的磁芯材料、几何结构、外形尺寸及线圈的圈数都不相同。图13-2所示是单体铁氧体视频磁头的典型结构，从图中可以看出视频磁头采用的是片状铁氧体磁芯，其外形尺寸很小，一般约为 $3mm^2 \sim 4mm^2$。磁芯片主体厚为0.13mm，磁芯片舌尖（也称磁头尖）部位为圆弧状。为了与磁带接触良好，其弧面半径应与视频磁鼓的半径接近。磁头尖的厚度决定了记录磁迹的宽度，一般为 $19\mu m \sim 58\mu m$。在磁头尖的中央开有一条很细的窄缝，称为工作缝隙。为了能记录高频信号，该缝隙的宽度应小于 $1\mu m$，某些家用录像机磁头的工作缝隙仅 $0.3\mu m$，这要用光学显微镜才能观察得到。由于家用录像机采用无保护带的高密度记录方式，为此还要求工作缝隙倾斜一个小的角度，这个角度称为磁头的方位角。对于两磁头录像机来说，两视频磁头的方位角是相对倾斜的，VHS系列录像机两磁头的方位角是 $\pm 6°$。为了增加视频磁头的机械强度，磁头尖及工作缝隙中用玻璃填充，在高温下烧结而成。

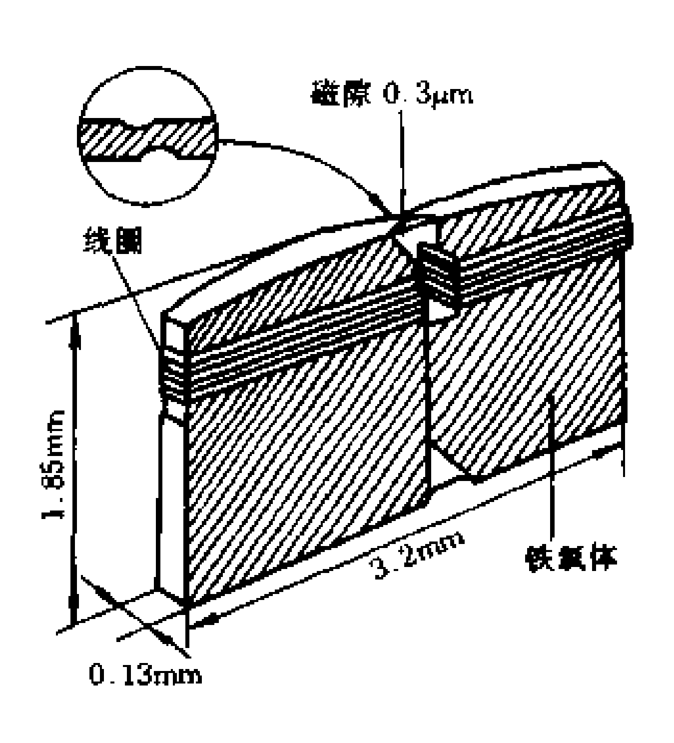


图13-2 视频磁头的结构

视频磁头线圈一般采用平衡的绕制方法，为了减小高频损失，要求磁头线圈的电感量很小，VHS型为1.8±0.3μH，因此磁头线圈的圈数很少，一般为8~10圈。若圈数多、电感量大，在记录高频分量时，必然产生很高的感抗，使高频时的记录电流减小，影响了记录效果。

（3）视频磁头的维护。一个新的视频磁头在正常工作条件下，其使用寿命约为1500小时左右，如果使用维护不当，将会使磁头的使用寿命显著减小，为了延长磁头的使用寿命，在使用录像机时应注意以下几点：

① 应在规定的温度、湿度条件下工作。

② 应在干净的环境条件下工作。沾染灰尘的磁带或质量低下的磁带不仅会加速磁头的磨损，而且还极易堵塞磁头的工作缝隙。

③ 要慎用磁头清洗带。单晶铁氧体视频磁头使用100小时约磨损1μm，而使用清洗带30s将磨去几微米，显然长时间使用清洗带将会缩短磁头的寿命。

④ 用清洗液来清洗视频磁头时，须用柔软的麂皮蘸取专用的磁头清洗液，沿磁头旋转的方向轻轻擦拭，禁止用坚硬的夹具挟持磁头清洗物。不能沿磁头平面的垂直方向擦拭，即使很小的机械应力，也可能把磁头尖部折断。

⑤ 录像机应在远离强磁场的地方使用。因为磁头或走带机构的零件易被强磁场磁化后而带有剩磁，当磁带通过带有剩磁的磁头或走带机构时，也易被磁化，尽管是轻微的，也会降低图像信号的信噪比。因此在录像机工作一段时间后，须用消磁器对磁头及走带系统的金属零件进行消磁。

⑥ 录像机使用时间长久，磁头由于磨损使缝隙深度减小，磁头线圈电感量下降，最佳记录电流特性改变，使录放的质量下

降，此时可通过调整最佳记录电流来弥补由于磁头磨损而带来的影响。当缝隙深度磨损到 20μm 以下，通过调整记录电流也不能使录放的图像质量得到改善时，就需要更换新的视频磁头，通常是连同上磁鼓一起更换的。

六、磁鼓组件

1. 磁鼓组件的作用

磁鼓组件的基本作用，是配合伺服电路使视频磁头均匀平滑地旋转，它应具有极高的加工与安装精度，以确保视频磁头在旋转时与规定的基准面保持正确的高度、角度和方位。它还应该为磁带的运行提供正确的轨道角度，使视频磁头在磁带上准确地扫描出符合规定方位和角度的磁迹。

2. 磁鼓组件的构成

不同型号录像机其磁鼓组件的结构形式基本相同，VHS 型家用录像机的磁鼓组件主要由视频磁鼓、旋转变压器和驱动电机构成。图 13－3 所示是采用薄型 DD 电机（直接驱动方式的

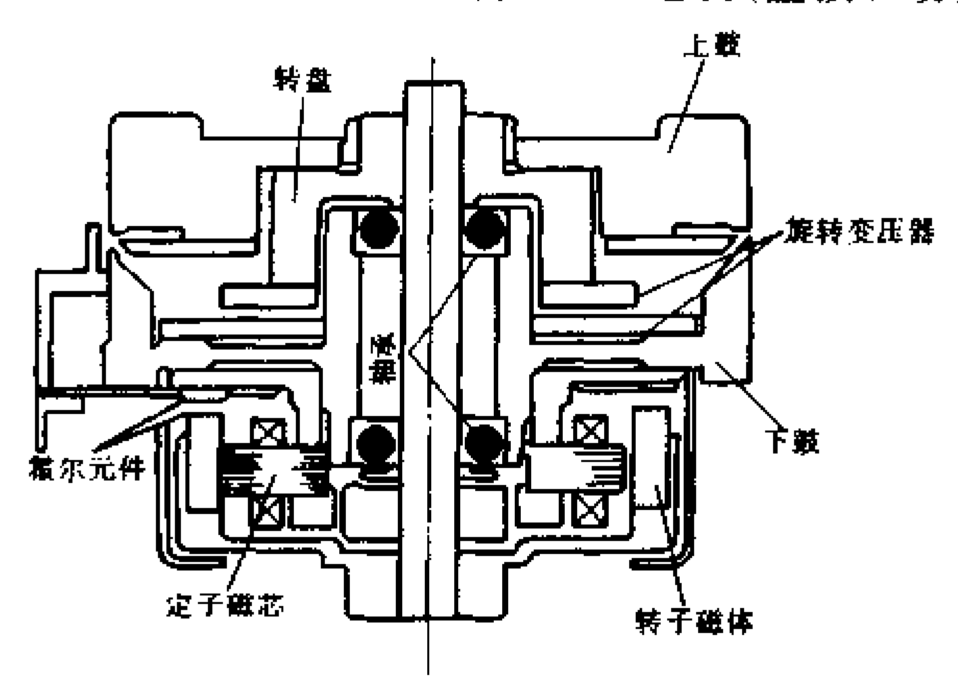


图 13－3　磁鼓组件剖面图

无刷直流电机)的磁鼓组件的剖面图。

视频磁鼓分为上鼓和下鼓两部分。在上鼓底面的边缘上，沿鼓直径方向对称装有一对录放视频信号的视频磁头，上鼓通过螺钉固定在与驱动电机主轴相接的转盘上，由驱动电机带动旋转。

转盘或称法兰盘是由合金铝等非磁性材料制成，经高精度机械加工后，用热压法装于驱动电机的转轴上。

下鼓固定不动，支承着整个鼓件，下鼓内部有两个滚动轴承，在轴向限位使上鼓旋转时无轴向跳动。在下鼓的表面刻有一条螺旋线状的导轨，称为引导槽或导向槽，其作用是与磁带入口导杆和出口导杆相配合，引导磁带按着预定的角度和高度倾斜地包绕在磁鼓的表面上。引导槽要求具有很高的加工精度，展开后其偏离直线的跳动要小于 2.5μm，这样才能保证磁带运行的稳定性和扫描磁迹角度的正确性。

为了实现旋转磁头与固定电路板之间信号的传递，在下磁鼓内安装了旋转变压器。旋转变压器由旋转极(转子)和固定极(定子)两部分组成。转子装在转盘的下面，如图 13－4 所示，转子和定子的磁芯是由圆环形锰锌铁氧体面对面以小于 0.1mm 的间隙构成的。转子线圈的端头与视频磁头相接，工作时转子与磁头一起转动。定子线圈的端头接在转换开关上，经开关转换在记录时与记录放大器相接，重放时与重放放大器相接。旋转变压器耦合线圈的数目，取决于上磁鼓上磁头的个数，对于两视频磁头方式的录像机，其旋转变压器需要有两组相互独立的耦合线圈，并保证这两组耦合线圈的对称性和消除两组之间的串扰。

转子线圈与定子线圈之间信号的传递是通过磁力线耦合来实现的，故称为无接点信号传递。转子和定子的磁芯均为圆环

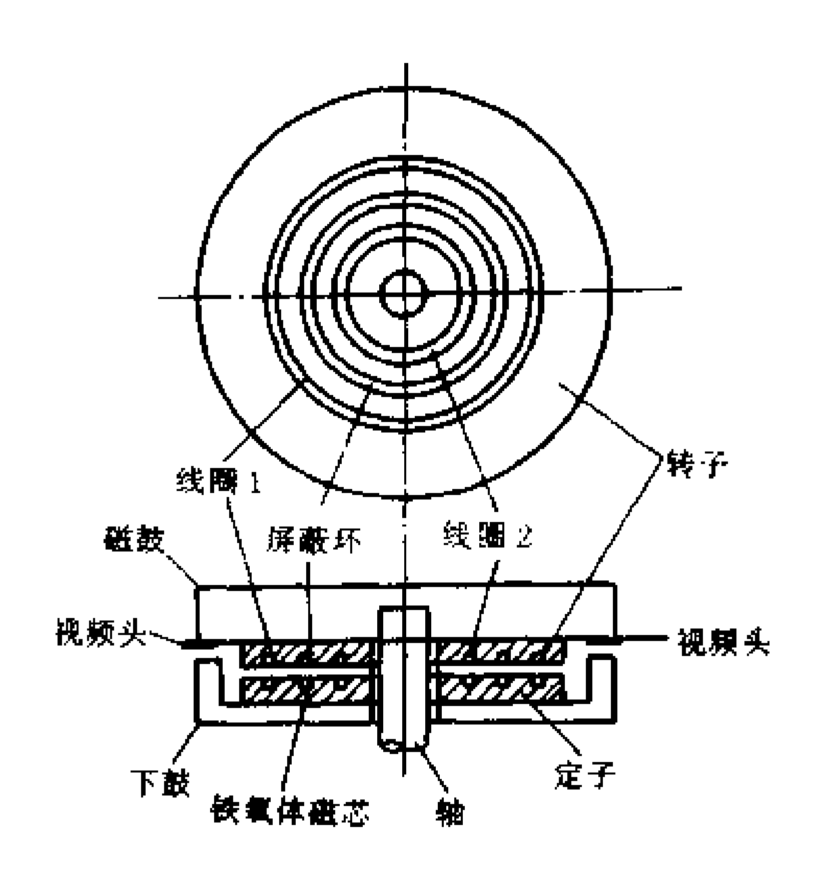


图 13-4 旋转变压器

状，从而使转子在旋转的过程中，保持转子与定子磁芯间磁路的连续性。在磁鼓组件中由于使用了旋转变压器，不仅实现了旋转磁头与固定电路之间信号的无接点传递，而且还可以通过变压器初次级线圈之间的阻抗变换，使磁头线圈（低阻）与放大电路输入端（高阻）之间信号传递的效率提高。

在下磁鼓的内部还装有一套测速装置，用以检测磁鼓的转速和相位，作为鼓伺服电路的测速信号发生器。

在下磁鼓的表面还装有结露检测装置。录像机如果工作在比较潮湿的环境中，或从低温环境突然移入温度较高的室内，磁鼓表面将会出现小水珠，这种现象称为表面结露。磁鼓表面结露后会使磁带粘在磁鼓上，增加磁头与磁带的摩擦系数，这将严重影响磁鼓的正常运转，缩短磁头和磁带的使用寿命。为此，录像机中装有结露检测装置，当鼓表面结露时，该检测装置自动输

出指令信号，使机器自动停止工作。

在磁鼓组件的最下方，是驱动上磁鼓转动的磁头鼓电机，简称鼓电机。目前大都采用直接驱动方式的无刷直流电机，简称DD电机。直接驱动就是将电机轴和鼓轴制成一体。DD电机具有结构简单、体积小、控制精度高等特点。

3. VHS型家用录像机磁鼓组件的主要技术参数

磁鼓外径：62 ± 0.01mm

视频磁头装配精度：180° ± 16″

视频磁头突出量：45 + 5μm

视频磁头高度差：5μm

磁鼓转速：1500转/分

磁带张力：0.30N ~ 0.45N

方位角：通道1磁头缝隙顺时针倾斜6° ± 10′；通道2磁头缝隙逆时针倾斜6° ± 10′

七、录像机的扫描方式

录像机的扫描方式，主要是指视频磁头在磁带上扫描磁迹的角度和形状，以及每条视频磁迹与行、场频率的关系等等。

1. 录像机的螺旋扫描方式

所谓螺旋扫描方式就是将磁带按螺线状缠绕在磁鼓上，让飞速旋转的视频磁头在低速运行的磁带上扫描出一条条几乎与磁带纵向平行的视频磁迹。目前生产的录像机，无论是广播用、专业用及家用录像机均采用这种扫描方式。

在螺旋扫描方式的录像机中，根据磁带宽度的不同、磁头个数的不同、磁带包绕磁鼓的方式不同以及每个磁迹所含信息量的不同又可分成许多种。不同种类的录像机，其视频磁头系统与走带系统之间的关系是不同的，因此不同种类录像机所记录

的节目磁带，彼此之间是不能互换使用的。

2.VHS型家用录像机的扫描方式

VHS家用录像机采用旋转两磁头螺旋扫描方式。见图13－5、图13－6，磁鼓在机内倾斜安装，在上鼓底面的边缘上对称装有两个录放视频磁头A与B，两磁头夹角为180°。磁带倾斜包绕在磁鼓上呈M状，包绕角度略大于180°，这种绕带方式称为M(或Ω)绕带方式。M绕带方式对磁头摩擦量小，便于自动装卸磁带，易实现盒式化。

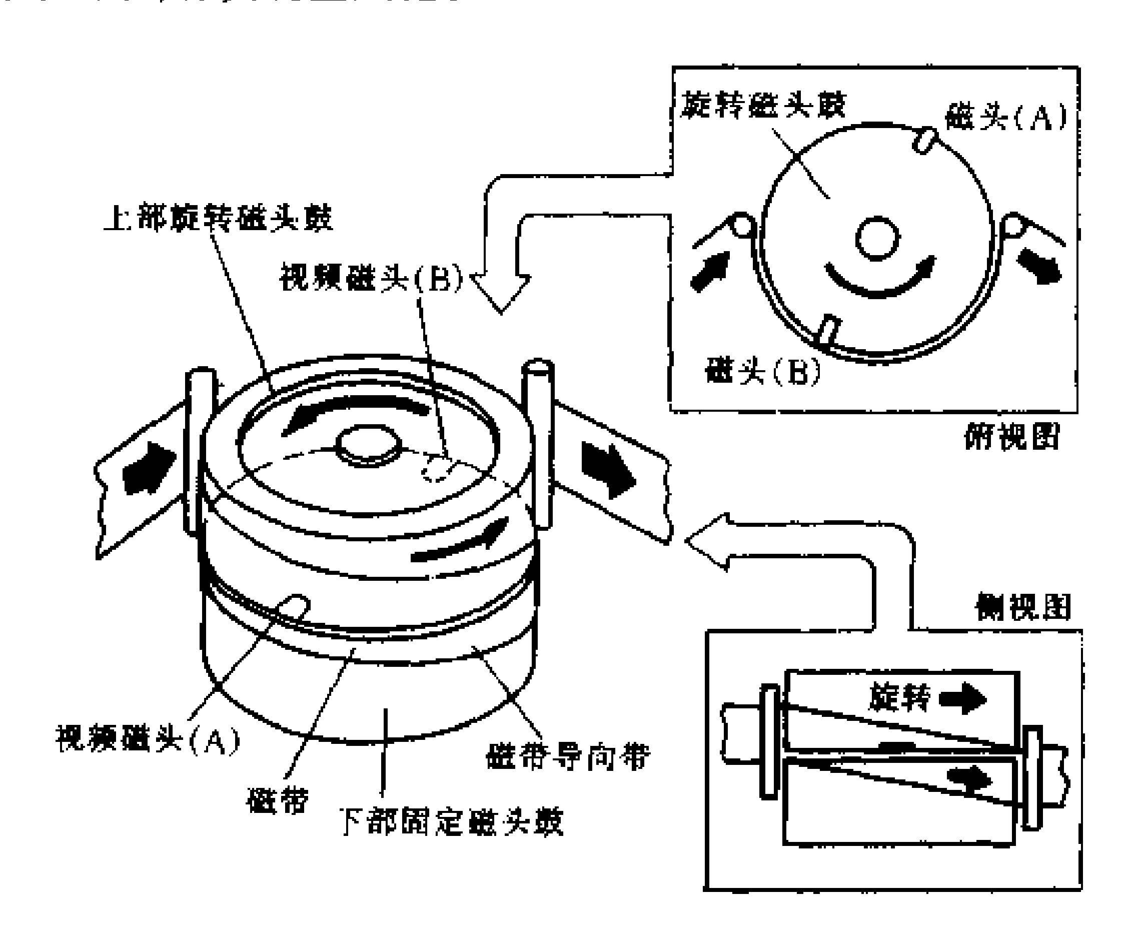


图13－5　两磁头螺旋扫描方式

在记录时，磁带以2.34cm/s的速度运行，磁鼓转速等于帧频即每秒25圈，磁鼓旋转方向和磁带传送方向相同，磁头与磁带的相对速度为4.84m/s。磁鼓每转一圈，磁头A、B在运行的磁带上各扫描出一条磁迹，每条磁迹记录一场视频信号，这种一

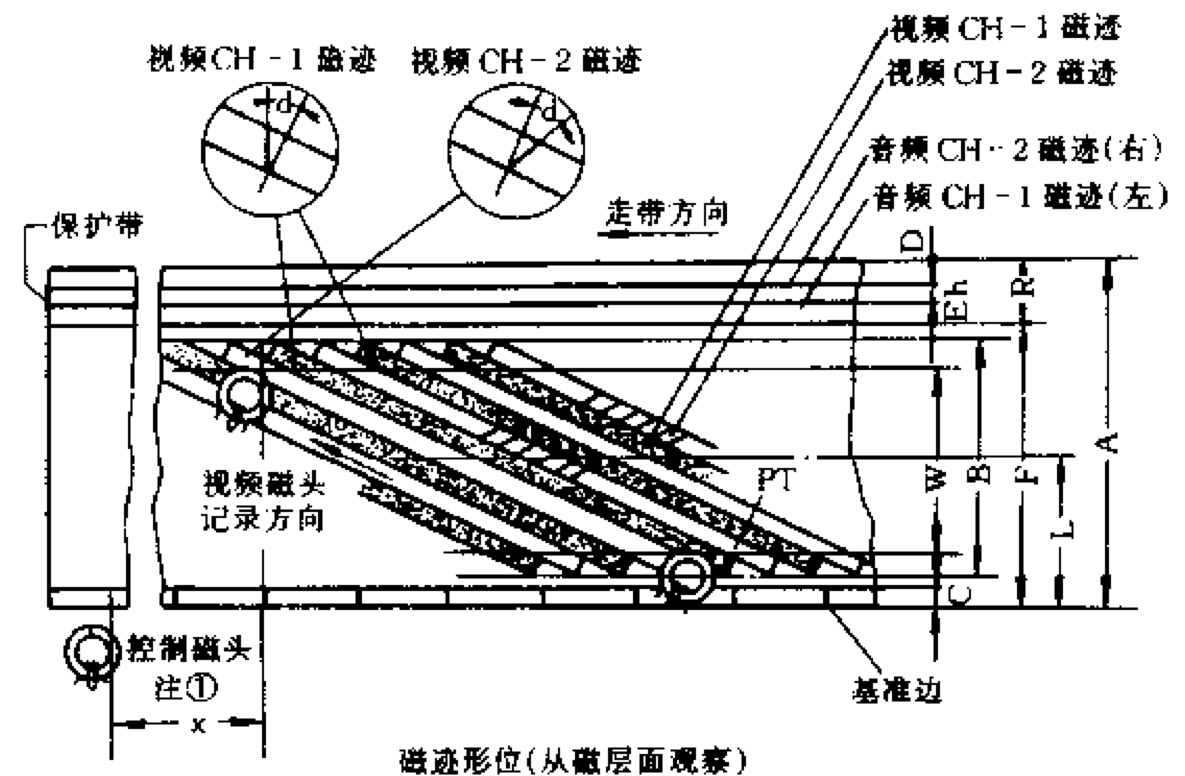


图 13-6 磁迹位形

场一迹的记录方式称为场不分段式，而多条磁迹记录一场视频信号的方式称为场分段式。

由于磁带包绕磁鼓略大于半周，因此，当磁头 A 在离开磁带上沿之前，磁头 B 已和磁带下沿接触，磁头 A、B 同时记录的部分，是奇偶两场信号合成一帧画面时所必需的重叠部分。在重放时，这些重叠部分由电子开关的作用而被切除，所以两个磁头的输出合在一起看，有如一个连续的信号。

录像机工作时，磁头高速旋转，在纵向运行的磁带上便扫描出一条条倾斜的视频磁迹，图 13-6 是 VHS 型的磁迹形位图，磁头 A 记录通道 1(CH1)信号，对应于电视的奇数场信号；磁头 B 记录通道 2(CH2)信号，对应于电视的偶数场信号。靠近磁带上沿记录的是伴音信号，单声道的录像机，则只记录一条声音磁迹。磁带下沿记录的是控制磁迹。控制脉冲的频率为 25Hz，即

每帧图像(两条磁迹)对应记录一个控制脉冲,控制脉冲可由场同步信号经双稳电路2分频后得到。控制脉冲作为重放时的基准信号,在重放过程中,磁鼓伺服系统从磁带上拾取控制脉冲(或稳定的晶振信号)作为基准,去控制磁鼓的转速和相位,使视频磁头准确地跟踪视频磁迹,即两磁头必须跟踪各自记录的磁迹。

为了在磁带的上、下边沿留出记录音频磁迹和控制磁迹的位置,视频磁头每旋转180°,磁头扫描磁迹的高度应小于磁带的宽度。

图13-7是VHS录像机的走带系统。在记录时,磁带从供带盘引出后,首先经过全消磁头,消去磁带上原有信号,再经旋转视频磁头录下图像信号,再经过固定的音频、控制磁头(音频磁头和控制磁头制成一体)录下音频信号和控制脉冲信号,最后

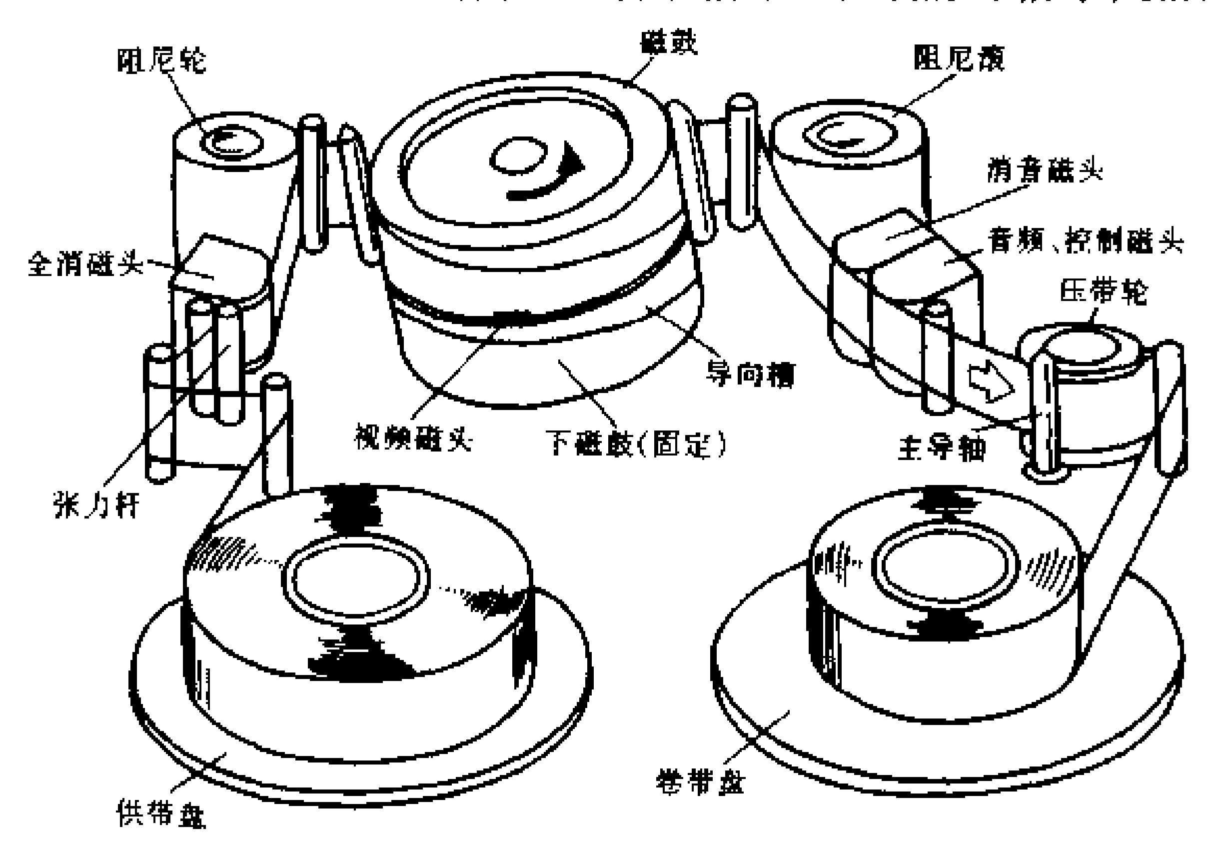


图13-7 VHS录像机走带系统

收入卷带盘内。重放时，全消磁头不工作，视频磁头、音频磁头、控制磁头分别拾取原来各自记录的信号，完成信号的重放过程。

VHS 录像机磁迹位形的技术参数如下（参看图 16－6 磁迹位图）

视频区宽度（B）：10.60mm

有效视频区宽度（180°）（W）：10.07mm

基准边至视频区中心的距离（L）：6.2mm

视频磁迹间距（P）：0.049mm

视频磁迹宽度（T）：0.049mm

控制磁迹宽度（C）：0.75 ± 0.10mm

音频磁迹宽度（单声道）（R）：1.0 ± 0.1mm

音频 CH－2 磁迹宽度（立体声－右）（D）：0.35 ± 0.05mm

音频 CH－1 磁迹宽度（立体声－左）（E）：0.35 ± 0.05mm

音频磁迹下沿至基准边距离（F）：11.65 ± 0.05mm

音频磁迹间保护带宽度（h）：0.30 ± 0.05mm

磁迹角（θ）：5°57′50.3″

螺旋角（θ_0）：5°56′07.4″

音一控磁头位置（X）：79.244mm*

（未注公差的尺寸均为标称值）

3. 家用录像机的高密度记录方式

录像机记录的视频磁迹很窄，仅几十微米，在进行记录或重放时，必须采取相应的措施，以避免相邻磁迹之间的串扰。否则，若记录的信号磁迹一条紧挨一条排列；在重放时，磁头跟踪磁迹稍有偏差，就可能拾取到相邻磁迹的信号，使重放图像质量变差。

---

* X 值的测量应从 CH2 扫描到 180°末端起至磁带上所录控制信号为止。

广播用和专业用录像机是采用两相邻磁迹间留有保护带的措施来克服相邻磁迹间串扰的，这就是在相邻两磁迹之间留有一条不录任何信号的空白部分，该部分的宽度是信号磁迹宽度的一半，这个空白部分称为保护带，如图 13－8 所示。采用保护带记录方式的录像机，其磁头缝隙与磁头运行方向成 90°。采用保护带记录方式，虽然有效地克服了串扰问题，但却白白地浪费了磁带的有效使用面积，缩短了一盘磁带的录放时间。

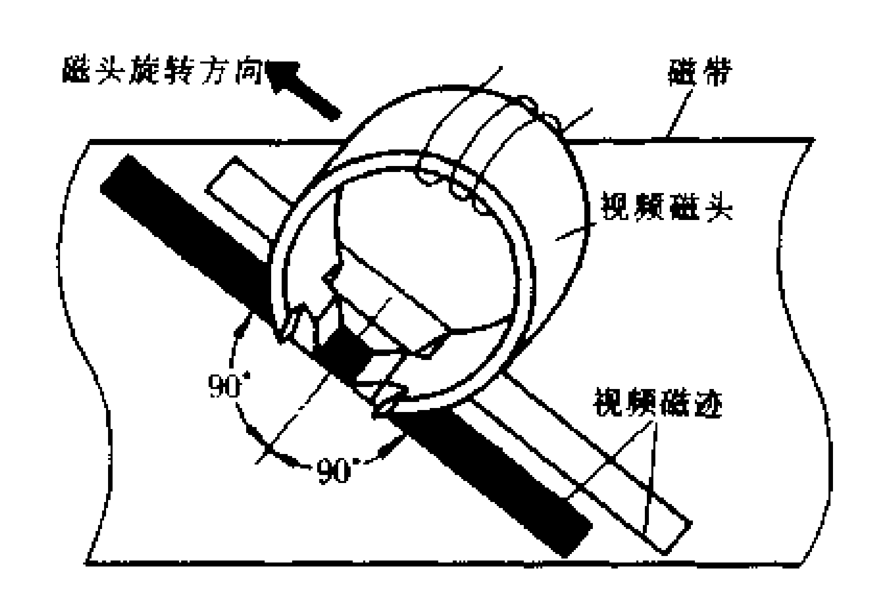


图 13－8 保护带记录方式

家用录像机为了充分利用磁带面积，既延长磁带的录放时间，又防止相邻磁迹的互相干扰，均采用了无保护带的两磁头倾斜方位角高密度记录方式，重放图像质量尚可满足家用的要求。根据磁性录放理论，记录磁头工作缝隙的方位角，决定着磁化图样（磁迹）的方位，如果重放磁头的方位角与记录磁头的方位角有偏差，则拾取的信号强度会大大减弱，这种现象称为方位损失。频率越高，方位损失越大，因此同一规格的录像机，对磁头工作缝隙都作了统一规定，如 VHS 型两磁头的工作缝隙相对倾斜 ±6°，以保证同一规格录像磁带的互换性。在重放时，两磁头各自跟踪原来自己所录的磁迹，以获得最大的重放信号输出。

若磁头出现跟踪误差，扫到相邻的磁迹上，也会因为方位不同使拾取的信号非常微弱。因此采用方位角记录可以有效地抑制相邻磁迹间的串扰。这样，利用方位损失特性，就可以取消视频保护带，使方位角不同的磁迹一条紧挨一条排列，提高磁带的利用率，录放时间大大增加家用录像机一盘磁带用正常速度录放，可录放 2～3 小时以上。参见图 13－9 VHS 磁迹位形。

4. 家用录像机的特技重放

特技重放，就是指目前家用录像机普遍具有的静像、慢放、快放、倒放等功能。特技重放是在维持磁鼓转速不变的条件下，控制磁带移动的速度和方向来实现的，这也是场不分段式螺旋扫描录像机的一个特点。

正常放像时，磁带速度和磁鼓转速与记录时相同（带速 23.39mm/s，磁鼓转速 25 圈/s），两磁头 A、B 分别拾取各自记录的磁迹信号，因此得到的是和记录时相同的活动图像。

在静像时，磁带倾斜地包绕在磁鼓上停止移动，磁头仍按原转速旋转，在静止的磁带上螺旋扫描拾取信号。由于磁带静止，磁头不能跟踪原记录的一条磁迹扫描，此时磁头扫描的轨迹要跨过两条磁迹，一般会出现如图 13－9(a)或(b)所示的两种情况。在图(a)中磁头 A 从磁迹 A_2 下端开始扫描，至磁迹 B_1 上端离开，由于 A_2、B_1 对应于原磁头 A、B 记录的磁迹，因为 A_2、B_1 的方位角不同，磁头 A 只在扫描 A_2 时有信号输出，扫描 B_1 时基本无信号输出。输出信号的幅度，取决于磁头扫描时覆盖相同方位角磁迹的宽度。因此，在图(a)中，磁头 A 输出的信号幅度从大到小，同理，磁头 B 从磁迹 A_2 下端扫描到 B_1 上端时，输出信号的幅度从小到大。这样，磁头 A、B 的输出，是由磁迹 A_2 的前半场和 B_1 的后半场拼接而成的一帧静止图像，由于相临两场的图像有很大的相似性，所以能够重现一幅静止的图像，这种静止

重放方式称为帧静止重放。

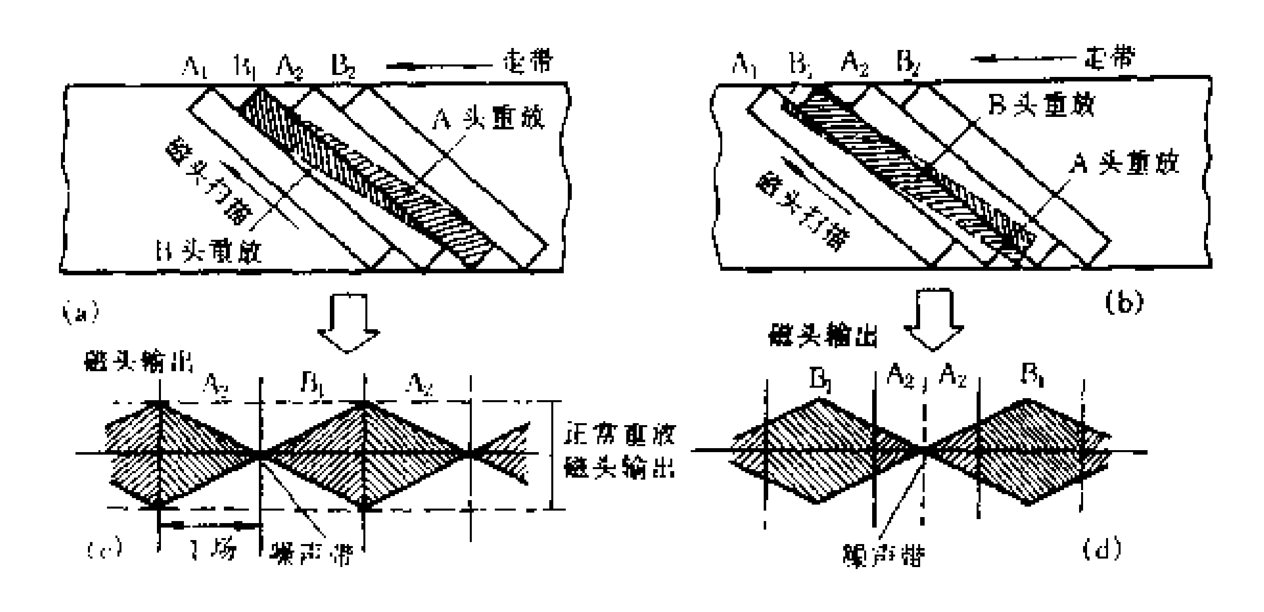


图13-9 重放静止图像

当磁带停在如图(a)所示的情况下,磁头输出的信号幅度如图(c)所示,在磁头输出信号幅度最小处,会使重放的图像出现一个无信号的噪声带。这时可利用一些辅助技术(如插入伪场同步等),将噪声带移到场消隐期间,使人们不易查觉,这种技术叫作简易无杂波静止画面重放技术。

若磁带停在如图(b)所示的位置,则无输出信号时在图像画面上所产生的噪声带不易克服,通常是使磁带停止移动时,控制磁带停在图(a)所示的位置上。图(d)是图(b)情况时磁头输出信号幅度变化的情况。

为了消除静止重放的噪声带,提高静像质量,可采取如下两种措施。

一种是采用增加视频磁头厚度的方法,使工作缝隙加长,A磁头为60μm,B磁头为80μm,这样可使磁头在磁迹两端拾取的信号增加。实践证明,只要磁头最小输出幅度保持在最大幅度的20%以上,就不会出现明显的噪声带,因此这种方法可以得到较好的静止图像。

另一种提高静像质量，行之有效的方法，就是在原来的磁鼓上，增设两只特技磁头 B′、B″(见图 13－10)，它们与磁头 B 的方位角完全相同，但它们的工作缝隙比原录放磁头 A、B 长，并且与 A、B 磁头不在同一平面上，B′、B″也不在同一高度，这样安排是考虑了倒放慢动作和正放慢动作的一些差别。

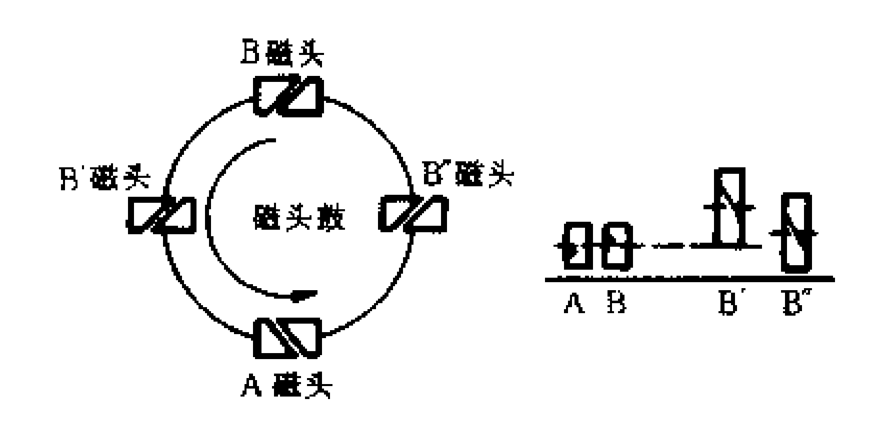


图 13－10 专用特技磁头的位置

特技重放磁头在正常录放过程中不起作用，被短路接地，只有在实现特技效果时才代替 A、B 磁头。例如静像时，B′、B″两磁头扫描静止的磁带，只拾取与磁头磁化方位相同的磁迹信号，由于 B′、B″两磁头的方位角相同，故只拾取原 B 磁头记录的一条磁迹(一场)上的信号，而对原 A 磁头记录的磁迹信号不能拾取，这种静像方式称为场静止图像重放。在这种情况下，磁头输出信号幅度稳定，因而重现的静止图像没有噪声带，可以得到几乎和正常重放质量相同的图像。

录像机处于静像状态时，由于磁带静止，两视频磁头高速旋转，反复扫描磁带的同一部位，这样对磁头和磁带的磨损均很严重。因此录像机均设有保护装置，当静像时间超过 5～6 分钟时，录像机自动停止静像而转入正常放像状态。

家用录像机的慢速重放，是通过减慢磁带向前移动的速度而得到的慢动作图像。早期的录像机是以正常带速的 1/2(或

1/3)的速度重放，在这种情况下，经过一个场周期即1/50s，磁带只向前移动1/2(或1/3)个磁迹宽度，因此每条磁迹要受到两次(或3次)重复扫描，这样就使重现画面更替的速度变慢了，从而可以得到慢动作的图像。上述实现慢速重放的方法虽然简单，但要使图像减慢的速度连续可调，则重放画面上噪声带的问题就不易解决了。

目前生产的录像机，普遍具有连续可调的慢速重放功能。这些录像机采用了标准重放(正常速度走带)和静止重放(磁带停止移动)相结合的方法，通过改变两者相结合的比例，来改变慢速重放的速度，从而实现任意重放速度的无噪声带的图像。这种实现慢放的方法又称为间歇走带方式，它是靠主导伺服系统和磁鼓伺服系统的精确配合来实现的。

快速重放是通过加快磁带向前移动的速度来实现的，通常是以正常带速的2倍或3倍的速度向前运行，这样在每个场周期(1/50s)磁头扫描2条或3条磁迹，从而使画面更替的速度加快，重现出快动作的图像。

倒放就是改变磁带移动的方向，由于画面更替的顺序变反了，所以重放出相反动作的活动图像。

第二节　视频通道

在录像机中，视频信号采用亮度信号和色度信号分别处理的方法。要记录的视频信号首先进行亮度和色度分离，分别处理之后再混合起来记录。因此，录像机的视频信号处理通道分为亮度信号通道和色度信号通道。两个通道又分为记录和重放两部分。

波形和频谱是信号分别在时域和频域的表现形式。同一信

号其波形和频谱有一一对应的关系，即不同的波形对应不同的频谱，不同的频谱也对应不同的波形。

视频通道的重点是要掌握信号流程，注意各个环节信号波形的变化，并能记住各个关键点信号的波形形状。

一、亮度通道

视频亮度通道分为亮度记录通道和亮度重放通道。

1. 亮度(Y)记录通道

亮度记录通道原理方框图如图 13－11 所示。

亮度记录通道的输入信号是视频信号，即彩色全电视信号，其输出负载是视频磁头，存储媒介是磁带。亮度记录通道的任务是将输入的视频信号通过视频磁头存储在磁带上。换言之，视频记录系统的作用是把待记录的全电视信号，经过一系列处理和变换之后，成为可容纳在头带系统传输范围之内的视频信号，通过旋转变压器馈入视频磁头。

(1) 视频信号的 AGC 放大

视频信号在进入亮度通道之前，首先要进行 AGC 放大(称为亮度 AGC 电路)。录像机亮度信号 AGC 电路的主要任务是压缩输入信号的动态范围，而不是把图像的平均值或图像幅度稳定在某一固定值上。

因为视频信号的平均值和峰值是随图像内容变化而变化的，不能因 AGC 电路使它们稳定在一个数值上，否则将出现平均亮度的畸变。理想的办法是检测同步信号的幅度。

为了便于检测同步头的幅度，采用了在同步头后肩上插入较大固定幅值参考脉冲，然后进行峰值检波的方法，在这之前必须对视频信号中的同步头进行钳位。参考脉冲是从视频信号中提取的行同步脉冲信号，再把它延迟到行同步后肩的位置，然后经

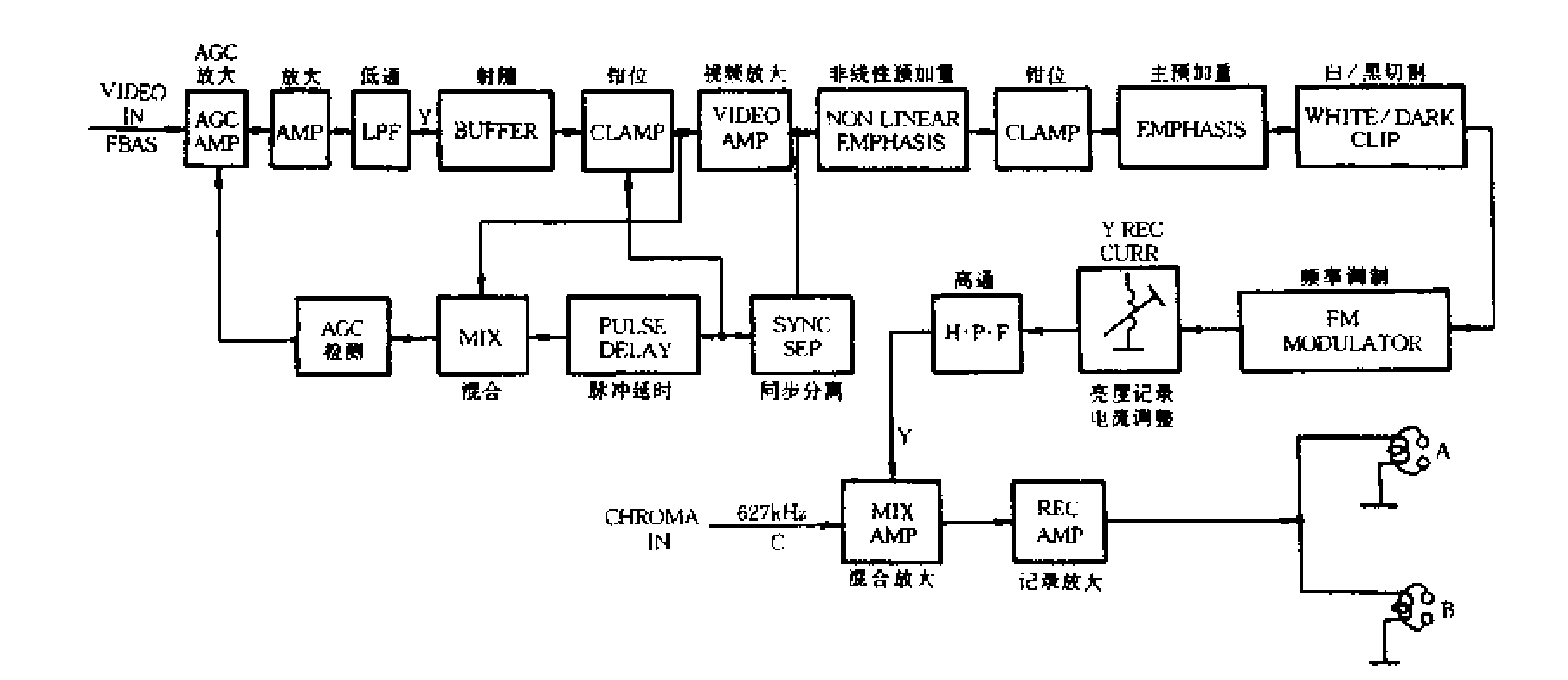


图 13－11 亮度记录通道框图

混合后送入 AGC 检测电路，用来检测同步信号的幅度。并用检波电压去控制 AGC 放大器的放大量，使同步脉冲幅度保持恒定，同时也使亮度信号维持标准电平，达到自动增益控制的目的。

(2) 低通滤波器 LPF

经 AGC 放大和视频放大后的视频(FBAS)信号，进入一个截止频率为 3.4MHz 的低通滤波器，其作用有两个：一是将 Y 信号与 C 信号进行频谱分离，将 4.43MHz 的色度信号阻止在滤波器之外；第二个作用是把亮度信号的频谱限定在 3.4MHz 之内，以避免基带频谱 0MHz ~ 3.4MHz 与调频时的载波 3.8MHz ~ 4.8MHz 频谱重叠。视频信号经过低通滤波器后分离出的亮度信号频谱如图 13 - 12 所示。

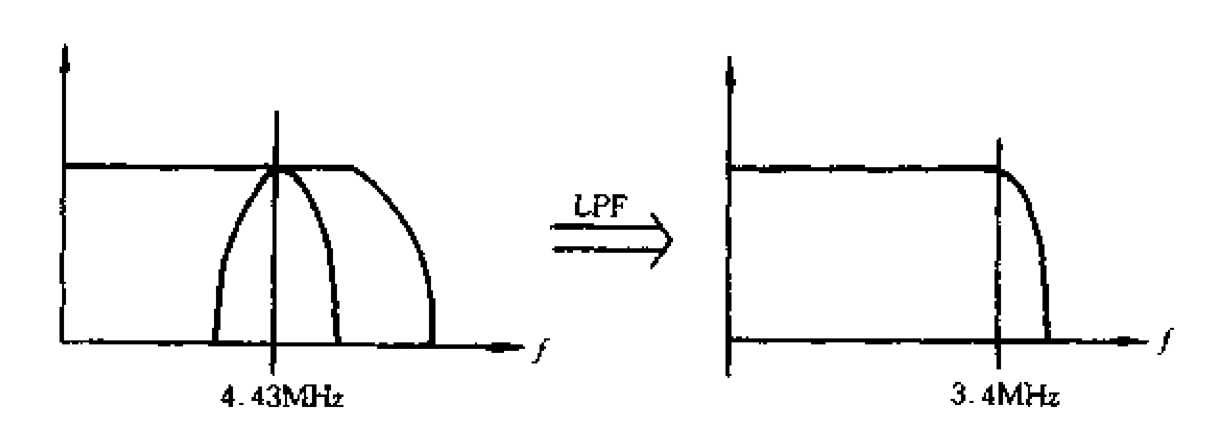


图 13 - 12　亮度信号频谱

由图可见，视频信号在通过 LPF 后，取出的亮度信号其频谱带宽已由原来的 0MHz ~ 6MHz，限制在了 0MHz ~ 3.4MHz，这种限制使录像机的清晰度限定在 270 线以内(每兆赫兹 80 线)，但因亮度信号的主要能量集中在 3MHz 之内，所以能量损失不算大。

另外，LPF 限制亮度信号带宽，经 FM 调制后，可压缩亮度信号的倍频程，解决低频端信噪比过低的问题。

(3) 钳位电路

在非线性处理电路的前、后都必须对电视信号进行钳位(这

里的非线性是指对电平而言)。在非线性电路之前加入钳位,目的是在对信号进行非线性处理之前恢复信号的直流分量和去除低频干扰,以便在非线性处理之后仍能正确恢复信号的直流分量,在非线性处理之后加入钳位电路,通过恢复信号的直流分量来确保非线性处理的效果,同时消除非线性处理电路中的低频干扰。

必须明确的是,钳位电路必须有同步脉冲去执行钳位,同步脉冲一般是从输入视频(Y)信号中提取的同步信号。这是因为钳位的结果要使视频信号中的同步头对齐。

(4) 预加重电路

预加重的目的是克服调频解调后三角噪声对高频段信噪比的影响。

为了减小调频信号通路的杂波对解调信号的影响,提高重放信号的信噪比,视频(Y)信号在送入调频器之前,要人为地把高频部分提升,这个过程为预加重。预加重包括主预加重和非线性预加重,信号通过预加重电路后波形的变化如图 13-13 所示。



图 13-13 预加重电路对波形的影响

主预加重的特点是不论信号电平高低,只要是高频信号都按加重特性曲线(如图 13-14 所示)进行加重。

为防止主预加重可能引起的黑白翻转现象,在主预加重之前,须加一非线性预加重电路。黑白翻转过程如图 13-15 所示。

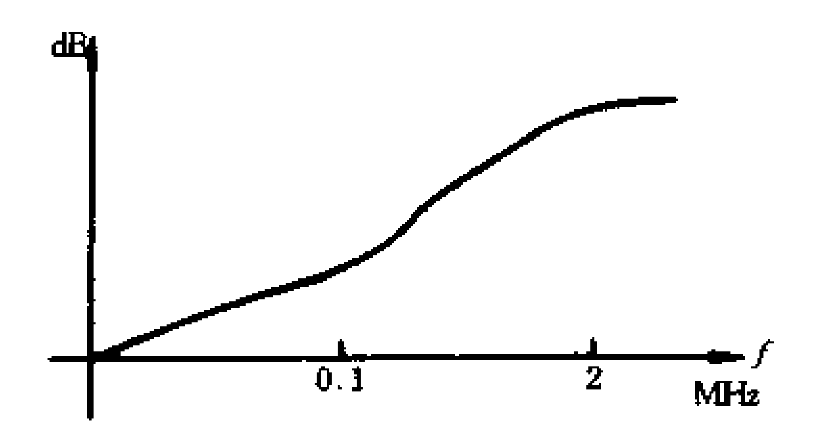


图 13－14　主频加重特性曲线

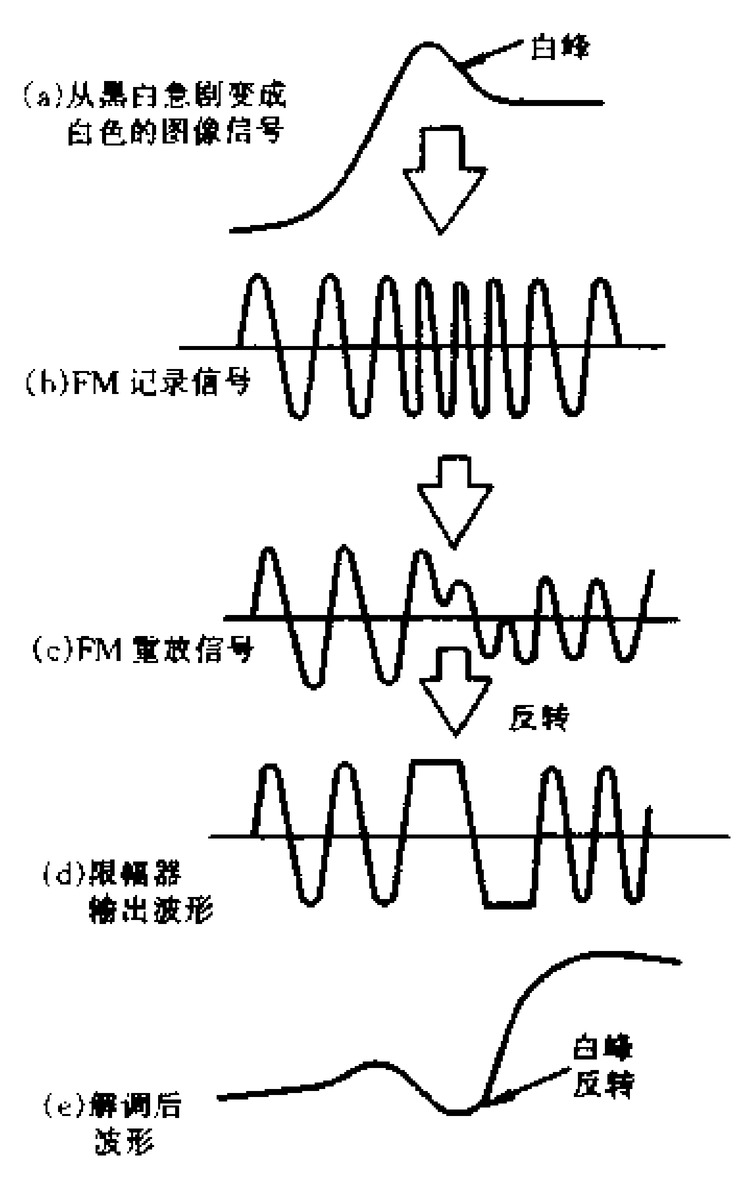


图 13－15　信号的黑白翻转

非线性预加重电路的特点是对原来电平较低的高频信号加重量增大,对原来电平较高的高频信号加重量减小,其加重特性曲线如图 13－16 所示。

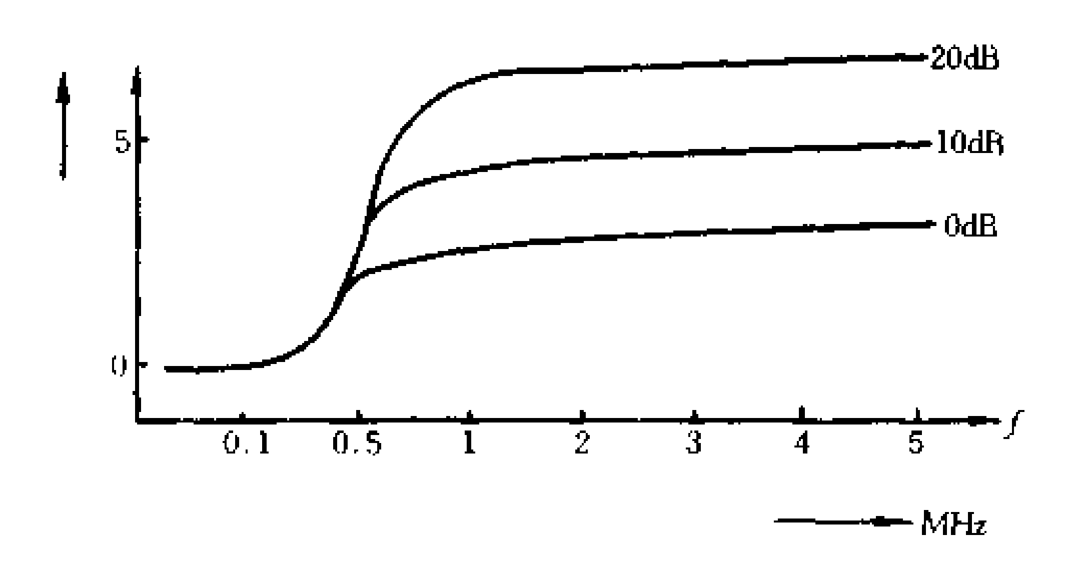


图 13－16　非线性预加重特性曲线

非线性预加重电路在主预加重电路之前,且中间有钳位电路。

(5) 黑/白切割电路

为了防止信号的高频部分经主预加重后幅度变得过大,以至于经调频电路时产生过调制,加入黑/白切割电路,采用强行幅度切割措施,即对过高的白电平削波称为白峰切割,对过低的黑电平削波称为黑切割。VHS 录像机黑/白切割的一般要求如图 13－17 所示。

电路所能允许的黑白切割范围越大,高频成分的信噪比越好,图像也就越清晰。黑/白切割电路设置在频率调制的前一级,目的是切除视频信号中超过标准幅度过多的白峰值(白切割)和低于同步顶电平的干扰(黑切割),使调频信号瞬时频率的变化限制在规定的范围内,以免出现过调制,产生不良影响。

(6) 频率调制(FM)电路

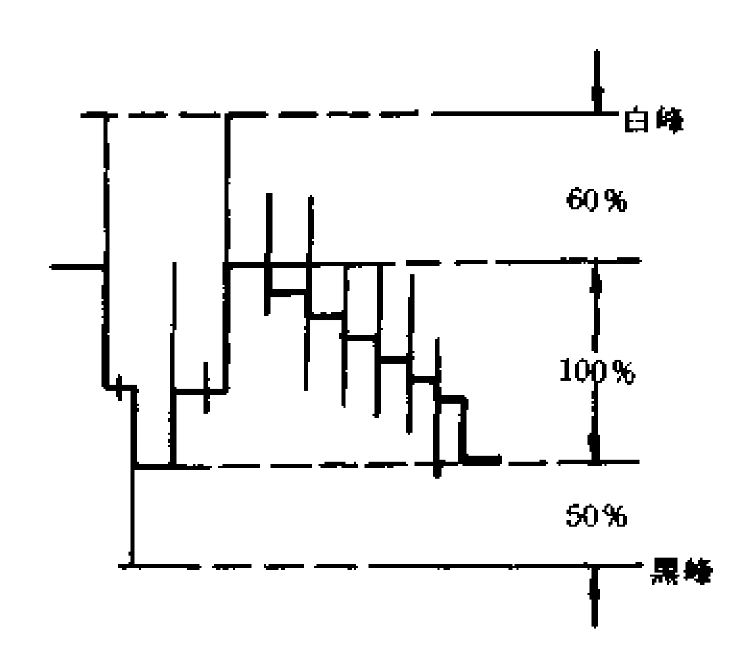


图 13－17　黑/白切割标准

经黑/白切割后的亮度信号，进入频率调制器进行频率调制(FREQUENCY MODULATE)。频率调制的目的是使 Y 信号的倍频程数压缩，同时可以防止杂波干扰。

亮度信号经频率调制器后，其波形就变成了等幅波(图 13－18)。这是亮度记录信号经调频后波形变化的一大特点。

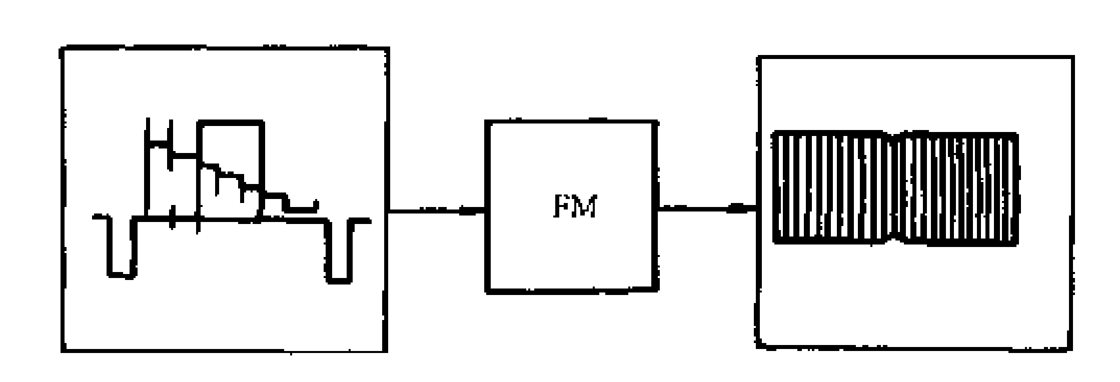


图 13－18　亮度信号经频率调制后的波形变化

(7) 记录电流调整

加在视频磁头上的记录信号不是电平越高越好，而是有个最佳值。同时必须注意到，在亮度与色度信号的混合器中，亮度

信号担负着色度信号的偏磁作用，偏磁信号小，色度失真大，当偏磁信号太小时，将记录不上彩电信号，甚至不能记录上亮度信号。偏磁信号太大，自消磁作用增大。因此，信号在加入磁头线圈之前要进行最佳记录电平的调整。

(8) 高通滤波器(HPF)

调频亮度信号在与色度信号进行混合之前，先要经过高通滤波器，滤除 1MHz 以下的杂波，防止亮度信号对降频色度副载波产生干扰。

(9) Y/C 混合器

调频亮度信号 Y 与降频色度信号 C 在(Y + C)混合器中混合。这种混合与音频记录电路中的音频信号与偏磁信号的混合类似，都是信号的相加。不同的是音频信号的偏磁是单一正弦波(67kHz)，而色度信号以亮度信号的高频作偏磁。

(10) 记录放大器

记录放大器的主要作用是对信号进行放大和频率特性校正。

由于磁头磁带的记录特性是随信号频率升高而下降，因此记录放大器对频率较高的亮度信号补偿较大，而对频率较低的色度信号补偿较小。同时由于要补偿的频带较宽，因此补偿电路分色度和亮度两大频段进行频率补偿。

(11) 视频磁头

在记录状态，视频信号与两磁头相并联(见图 13 - 19)，两磁头在任何时刻所得到的视频信号都是相同的。这一点与重放工作状态不同。

2. 亮度(Y)重放通道

亮度重放通道的输入端是视频磁头，信号源是磁带。亮度信号重放通道的任务是把磁带上的剩磁信号还原成原来的视频

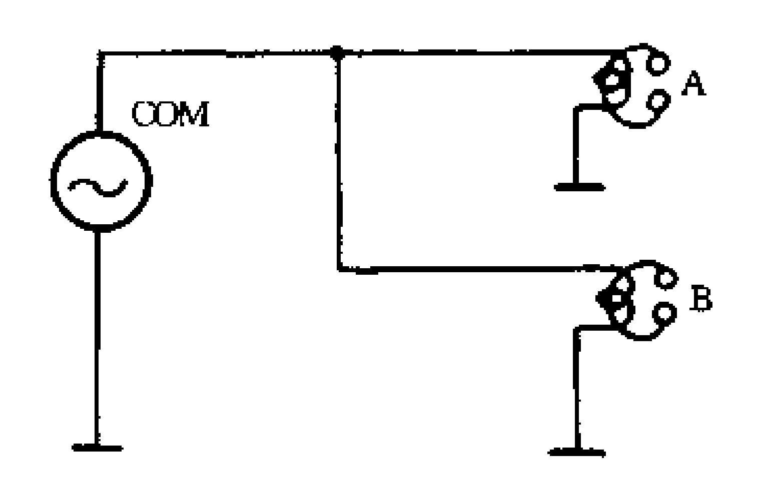


图 13－19 记录过程中视频磁头的工作状态

信号。重放通道的主要环节是磁头和频率解调器(鉴频器)。

从原理上讲，重放是记录的逆过程，信号的流通方向与记录时正好相反。重放时信号从磁头输入直到视频输出，记录和重放两个通道的主要环节是相反的。但对于重放通道的个别环节来说，又不完全是记录通道的反过程。

从系统理论上说，重放又是记录信号流程的继续，如失落补偿电路弥补记录时的缺陷或记录后的缺损。双重限幅电路用来克服记录前预加重容易产生的黑/白翻转现象，噪声抑制电路用来改善记录或重放时高频段信号损耗大，信噪比差的缺点。

亮度重放通道方框图如图 13－20 所示。

(1) 磁头切换和信号放大

重放时 A 磁头拾取 A 磁迹信号，B 磁头拾取 B 磁迹信号，一方面要对拾取的信号进行放大，而且在放大时注意补偿重放时的高频损耗。VHS 机采用磁头电感谐振方法，即利用磁头电感和分布电容构成的谐振电路补偿磁头磁带的高频特性。另一方面还必须把 A、B 磁头拾取的信号沿时间轴进行排列和切换，见图 13－21。

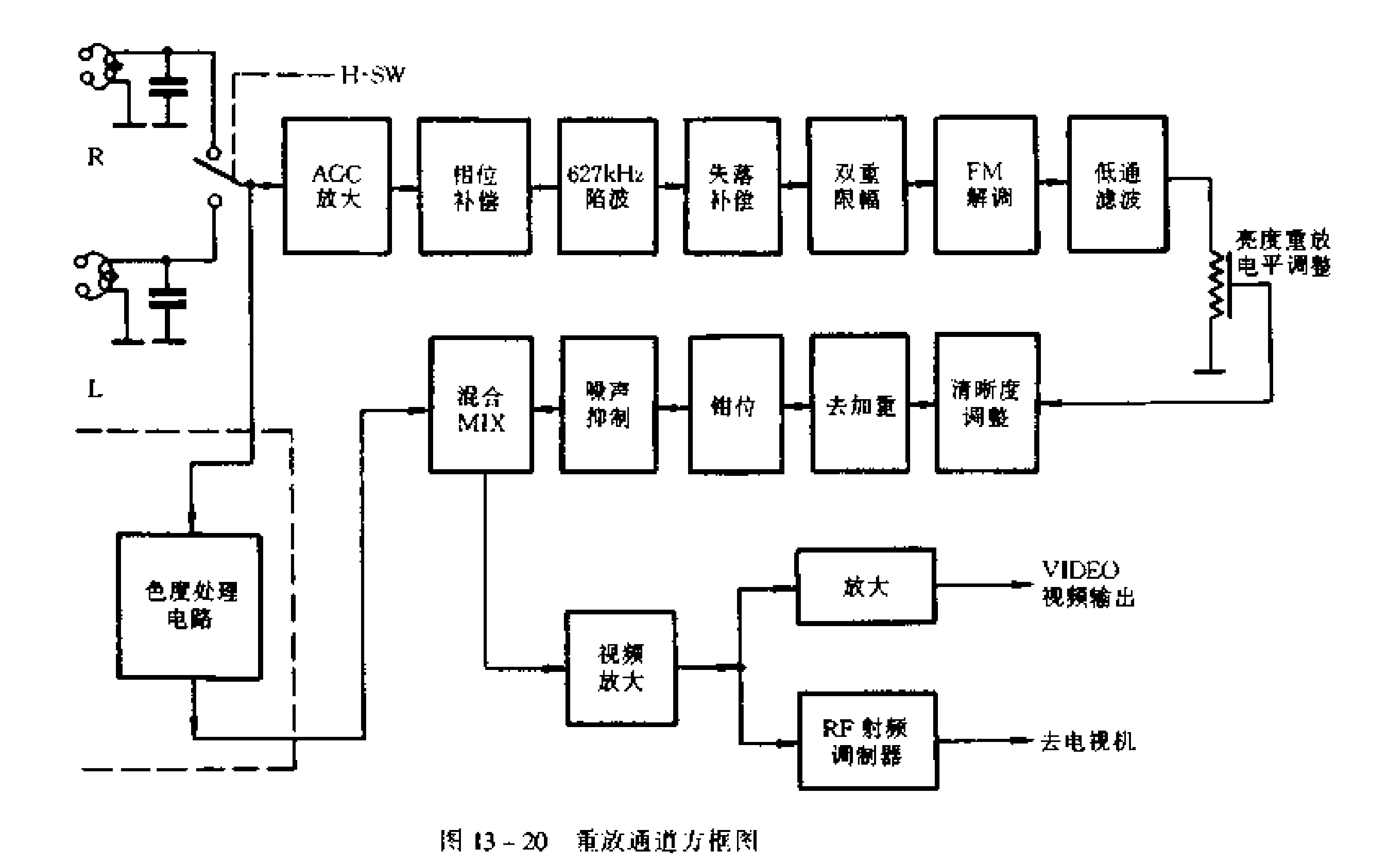


图13-20 重放通道方框图

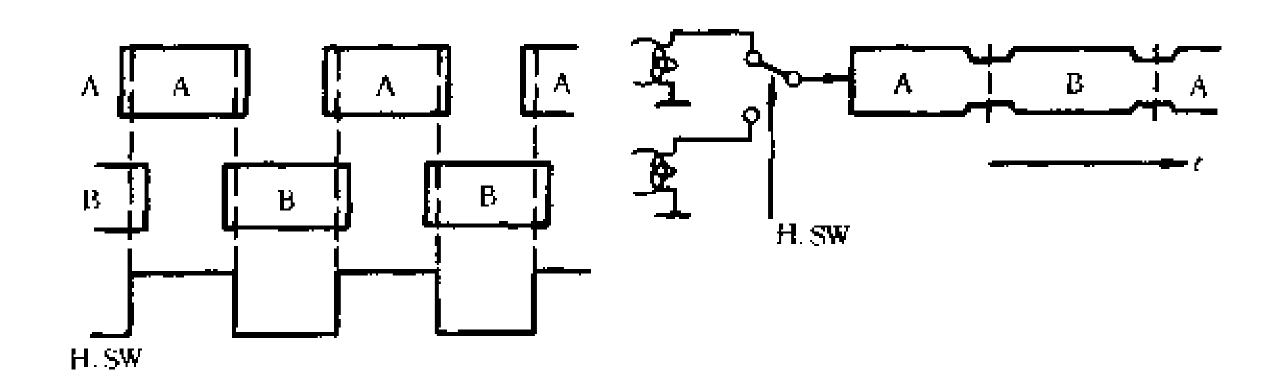


图 13-21 重放状态磁头的切换

(2) AGC 放大和相位补偿

AGC 电路用来对信号进行自动增益控制，以保证重放通道中的放大器对输入信号有较大的动态范围适应性。

由于重放信号系统由电感元件将电流变为电压，信号的相位也将会被电感元件的电抗成分改变。为此，加入了相位补偿电路使通道的相位特性得到均衡。

(3) 频谱分离(627kHz 陷波器)

经过 AGC 放大后的信号需经过频谱分离。分离的方法采用简单的色度陷波器，对 627kHz 的信号进行陷波后分离出亮度信号。

(4) 失落补偿电路

失落补偿电路是亮度重放通道中的一个重要电路。信号失落的原因很多，如磁带划伤、脱粉、磁粉涂布不均匀或磁带和磁头瞬间接触不良等，都会产生信号失落现象。

失落补偿电路有两种形式，一种是在解调前进行补偿，一种是在解调后进行补偿。失落补偿是利用相邻电视行的图像内容相似的原理(也称作垂直图像相关原理)，把正在传输的调频信号延时一行。用失落检测电路随时检测信号是否有失落，一旦发现有失落，则将上一行的信号填入。

因为一行的图像内容不能重复使用太多，当信号失落时间

较长时,检测脉冲宽度最多也只能有5~6行的宽度。由此看来,失落补偿电路只能进行几行的补偿,而对长时间的信号失落无效。

解调前失落补偿的缺点,是在补偿信号插入的连接点处易产生瞬间干扰(相位突跳)。

(5) 双重限幅电路(DL-FM)

双重限幅电路是针对记录通道采用主预加重电路而设置的。亮度信号经主预加重后,高频信号的加重很容易产生黑白翻转现象,为防止产生这种现象,VHS录像机采用了双重限幅的方法。

所谓双重限幅是信号通过两次限幅。第一次限幅仅仅是对高频信号限幅,这个限幅器称为辅助限幅器,限幅后的高频信号,经相位校正后与低频信号混合,混合后的信号再限幅,这个限幅器称为主限幅器,见图13-22。经主限幅后的信号就可以进行频率解调了。

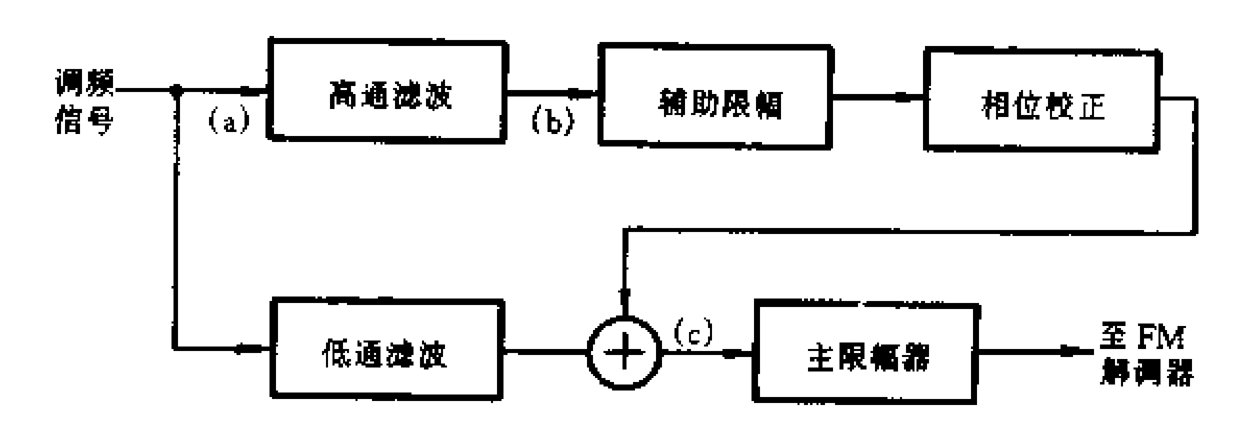


图13-22 双重限幅电路

(6) 频率解调器

频率解调器的作用是将频率变化的信号还原成幅度变化的信号。现代的录像机普遍采用脉冲计数型鉴频器。等幅的调频信号先进行双向限幅,正弦波限幅后的波形近似方波,然后对此

波形进行微分，微分后的波形再进行倍频（把向下的脉冲翻成正脉冲）。

频率解调器的实质仍是乘法器，它所输出的频谱成份有和频和差频，解调器的输出仍需要用一个低通滤波器来抑制各种和频成份对视频信号的干扰。在低通滤波器（LPF）之前测出的波形仍然是 FM 波（较乱）。

（7）低通滤波器（LPF）

用来滤除解调器可能产生的高频干扰信号，在 LPF 之后所测波形才是频率解调后的亮度阶梯波。

（8）图像清晰度调整电路

此电路主要是通过改变视频放大器的频率特性来改变视频信号的高频或低频特性。

（9）去加重电路

在解调之后，需要用去加重电路使加重部分恢复到原来的水平。从电路上看，去加重电路实际是高频衰减电路，其频率特性刚好同预加重电路相反。

（10）噪声抑制电路

为了提高录像机图像的信噪比，重放通道一般都设有噪声抑制电路，也叫杂波消除电路，以消除高频噪声。

（11）Y、C 混合及视频放大电路

二、色度通道

录像机中的色度通道不是对色度信号解码，只是对色度信号进行处理。其一是对色度副载波进行变换，色度信号在录像机中的主要变化之一，就是色度副载波的降频（记录）和升频（重放）。其二就是降频的方式不同，或者说为防止相邻磁迹信号干扰所采取的色度信号频谱交错的方法不同。

1.色度记录通道

色度记录通道要完成的主要任务,一是频谱搬移,将4.43 MHz色副载波降频为627kHz;二是完成频谱交错,这种交错有两个含义:① 邻迹色度信号的频谱以$1/4f_H$间隔交错。这种交错是通过A磁迹信号逐行相位规律不变,B场信号逐行滞后90°(左移$1/4f_H$)的移相(PS)方案来实现的。② 记录色度信号与亮度信号频谱以$1/8f_H$间隔交错。这种交错主要靠选择$40\frac{1}{8}f_H$(即627kHz)的降频色度副载波来实现。

色度记录通道信号流程原理方框图如图13-23所示。

(1) 带通滤波器(BPF)

视频信号(FBAS)进入色度通道首先要进行亮度、色度频谱分离,通过4.43MHz带通滤波器BPF滤除亮度信号,将色度信号分离出来,见图13-24(a)、(b)。

(2) 自动色度增益控制(ACC)

为扩大记录通道中信号电平的动态范围,电路中设有自动色度增益控制电路(ACC)。

(3) 平衡调制器(主变换器)

经ACC电路控制后的色度信号进入主变换器(平衡调制器),在这里完成频谱搬移,将4.43MHz色度信号搬移到627kHz降频副载波外,见图16-24(c)。

主变换器是色度记录通道的最主要环节,它的输入信号有两个:一是4.43MHz色度信号,二是5.06MHz本机振荡信号,为了取出平衡混频器的差频(5.06-4.43)=0.627MHz信号,在平衡混频器之后应接一低通滤波器LPF。

(4) 自动消色电路(ACK)

当信噪比太低时,应切断色度通路以提高图像清晰度,去掉

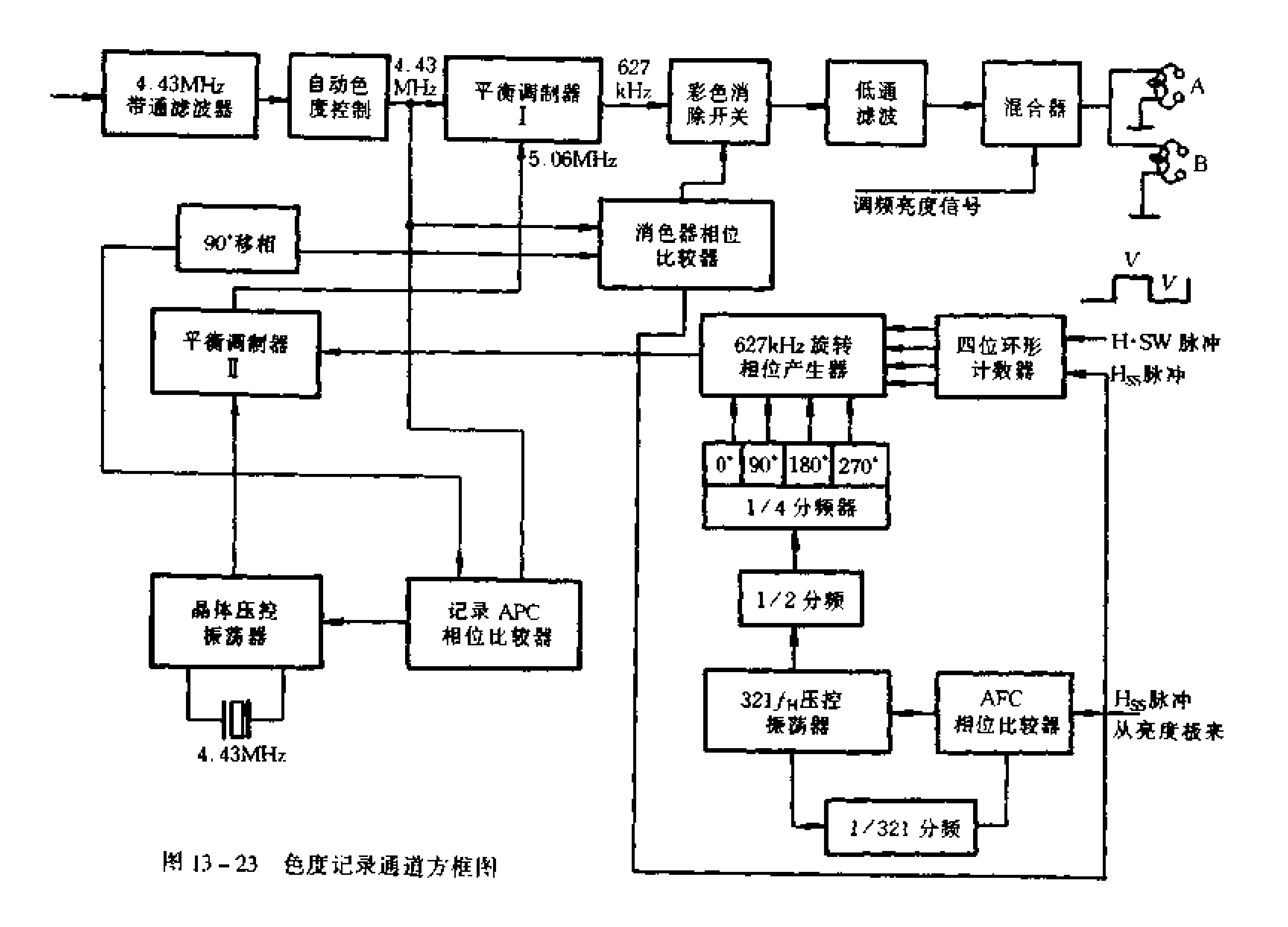


图13-23　色度记录通道方框图

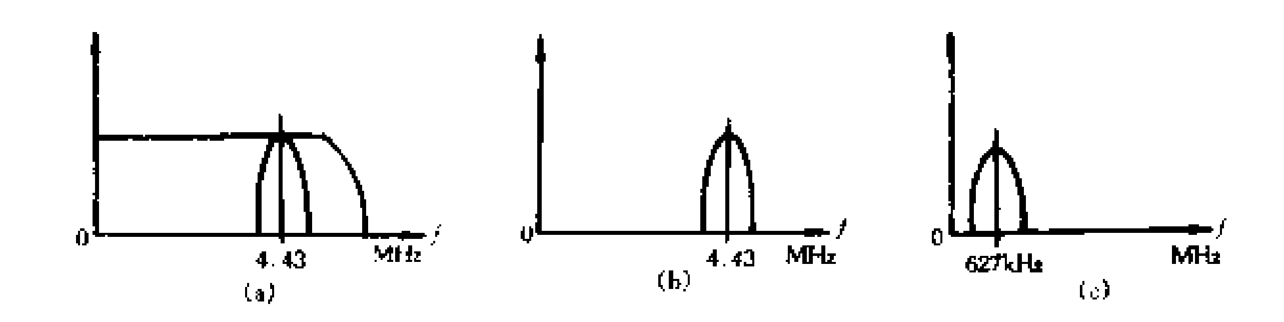


图 13－24　色度信号的频谱变化

色度噪声干扰，为此加入 ACK 电路。当色度电平较低时自动切断色度通道。相位偏差较大时也自动切断色度输出。

彩色阻断电路主要通过一个开关来切断彩色输出信号。其主要部分是消色器相位比较电路，它具有两种功能，一是对色度信号中的色同步信号幅度进行检测，以判断是否有 4.43MHz 的色度信号输入，如果检测不到色同步信号，则消色比较部分应输出控制信号使消色开关断开。二是对 4.43MHz 色同步信号的相位进行相位检测，由于晶振(4.43MHz)移相 90°，所以在色同步信号的相位与晶振相位相同时，比较器无输出，其偏差越大，输出电平越大，比较器输出电平经施密特电路后，控制消色开关，如图 13－25 所示。

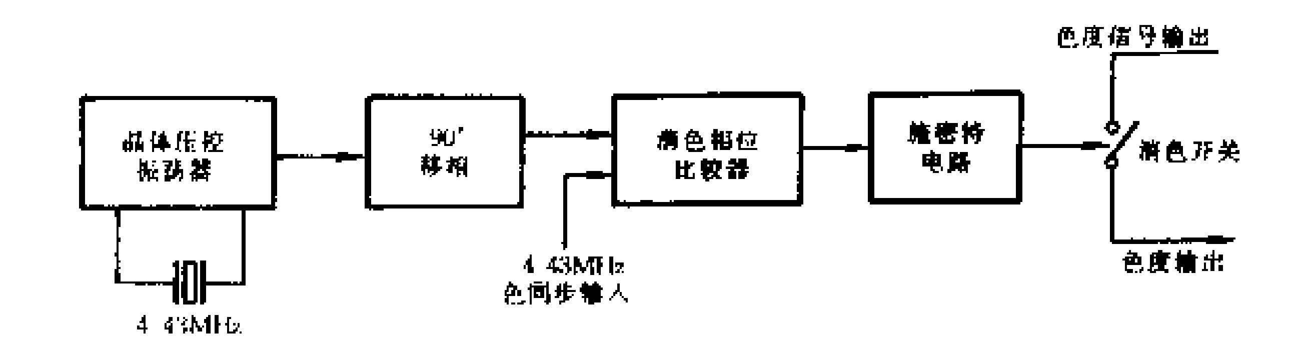


图 13－25　自动消色电路

(5) 低通滤波器 LPF

取出降频色度信号，馈送至 Y、C 混合器。

(6) 5.06MHz 信号混频器(副变换器)

由于 5.06MHz 信号系由 4.43MHz 晶振信号和 627kHz 混频产生的，所以在相位上所有对 5.06MHz 信号的要求都通过 627kHz 信号来实现。

如果使 627kHz 振荡信号在 A 场相位规律不变，B 场相位逐行滞后 90°，那么 5.06MHz 信号的相位将具有同样的变化规律，因为 4.43MHz 信号的初相位总为 0，这样主混频器就把要记录的 4.43MHz 色度信号变成了相邻磁迹信号频率 $1/4f_H$ 间置的信号。又由于 627kHz 正好为 $401/8f_H$，与行频有 $1/8f_H$ 间置，这就使记录色度信号与亮度信号实现了 $1/8f_H$ 间置。

以上思路可用图 13－26 来表示。

5.06MHz 产生器由三部分组成。其中 4.43MHz 晶体压控振荡器的频率由来自 ACC 的 4.43MHz 色度副载波中的色同步脉冲信号进行锁定。相位比较器将晶振信号与色度副载波同步信号进行相位比较，比较后的误差信号调整 4.43MHz 晶振输出。使其相位与色度副载波相位变化一致。

(7) 627kHz 信号产生器

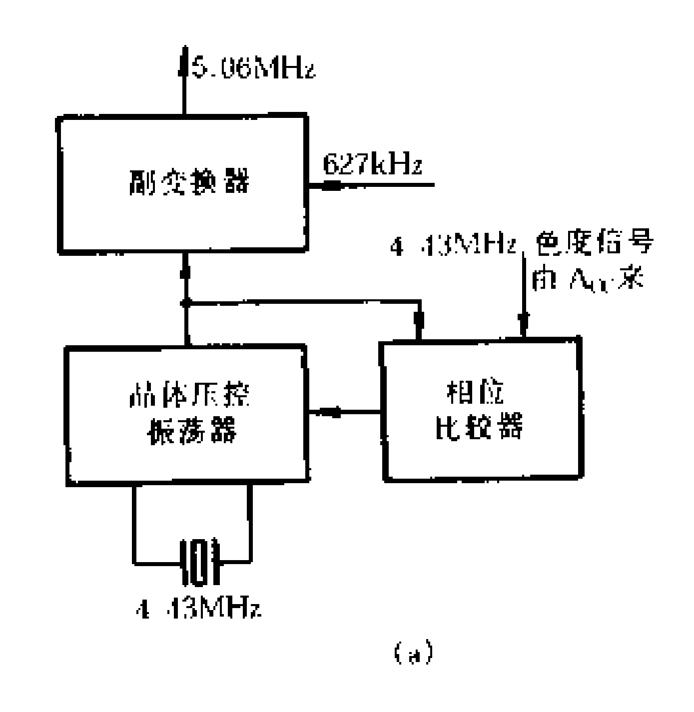
627kHz 信号必须具备两个特点：① A 场时初相位总为 0°，B 场时相位逐行滞后 90°。② $627kHz=(40+1/8)f_H$，此频率与 Y 信号谱线的最小间隔为 $1/8f_H$。

用 D 触发器来产生 627kHz 旋转相位的原理如图 13－27 所示。D 触发器输入两个信号，一个是 f 信号(627kHz)本身，另一个是 $4f$ 信号。输入端两个信号的频率为 4 倍关系。

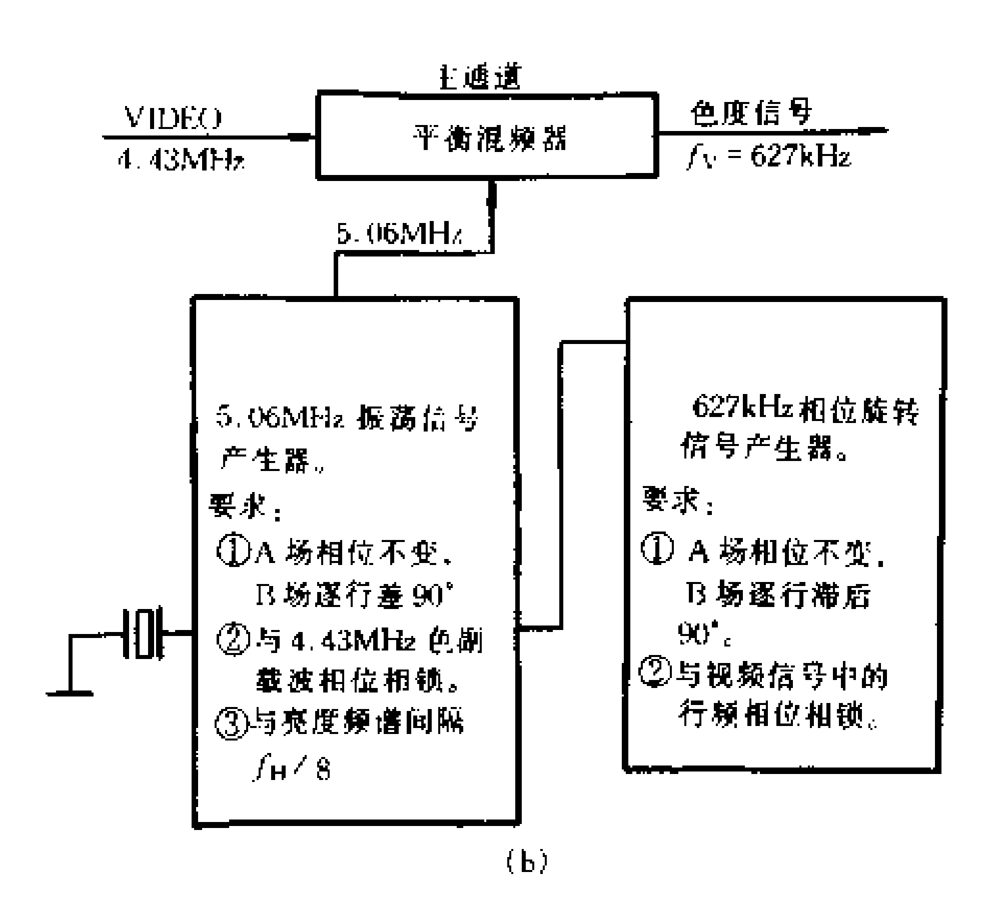
$321f_H$ 振荡器是个压控振荡器，经 1/2 分频后又进行 1/4 分频，从而产生 $401/8f_H$ 即 627kHz 振荡信号。

D 触发器就是四相位产生器。

旋转相位产生器的作用是控制输入 4 种相位的 627kHz 信



(a)



(b)

图 13－26 副变换器原理图

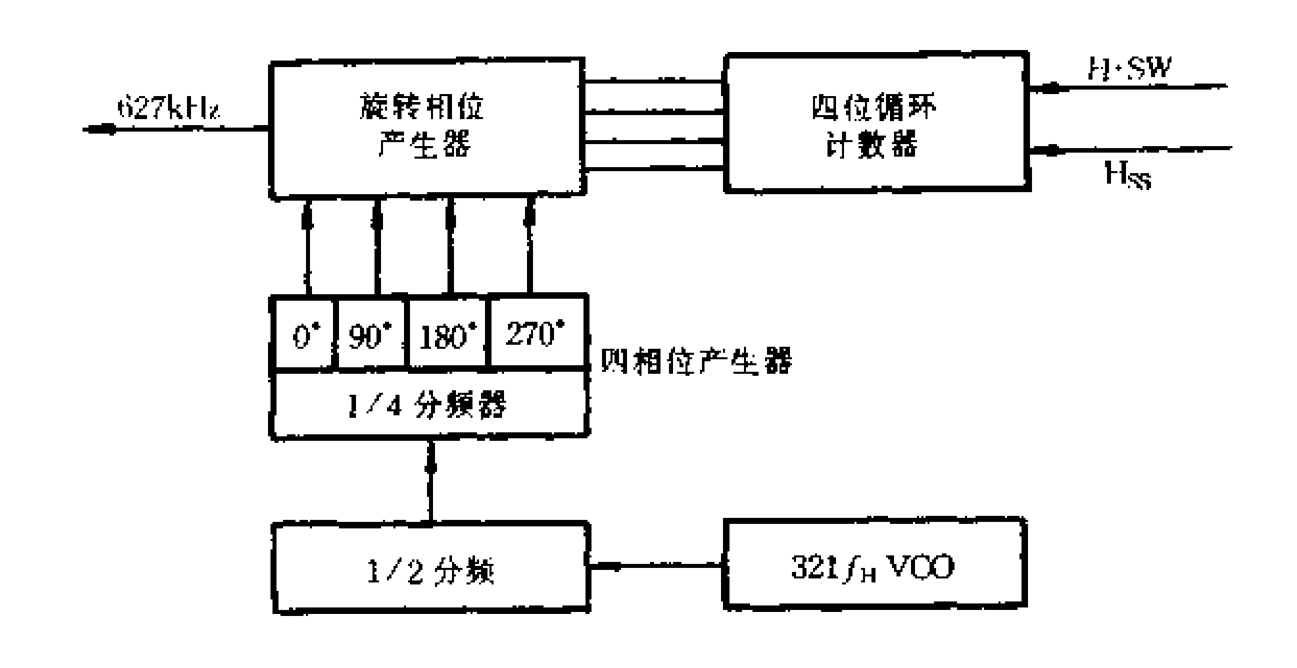


图 13－27　627kHz 旋转相位产生器

号，控制的方法是用四位循环计数电路对行脉冲信号进行计数。当第一位行脉冲信号输入时，使 0°的 627kHz 信号输出，第二位行脉冲到来时，输出 －90°的 627kHz 信号……当第 5 个行脉冲到来时，重新计数，使 0°的 627kHz 信号输出。

四位循环计数器工作与否由磁头开关脉冲信号 H.SW 来控制。A 场时使计数器强迫置 0，B 场时计数器正常工作。当计数器置 0 时，只输出相位为 0°的 627kHz 信号。

为使 627kHz 振荡频率与记录信号频率变化同步，对 321f_H 振荡器设置了锁相环路，由视频信号中的行同步信号对 321 f_H 进行锁相。使 321 f_H 振荡器的频率随视频信号中的行频变化规律变化，达到频率同步变化的目的。

综上所述，色度记录通道大体可分为四部分：① 主通道：即视频输入（VIDEOIN）→带通滤波器（BPF）→自动色度控制（ACC）→主变换器→自动消色电路→低通滤波器（LPF）→混合器（Mix）→视频磁头。这部分的主要环节是 4.43MHz 至 627kHz 的降频

变换。其中将色度信号频谱进行搬移和交错的最关键信号是 5.06MHz 信号。② 5.06MHz 信号产生器部分。③ 627kHz 旋转相位信号产生器部分。④ 彩色阻断电路(ACK)。

2.色度重放通道

色度重放通道的主要任务有三点:① 完成彩色频谱的搬移,把频谱从 627kHz 搬回到 4.43MHz 位置。② 消除由于磁迹跟踪不准而引起的邻迹彩色信号的干扰和对亮度信号的干扰。③ 应具有克服时基误差影响和在信号失落情况下准确跟踪和调整彩色相位的能力。

色度重放通道原理框图如图 13-28 所示。

重放主通道与记录主通道的基本结构是一样的,不同点只是平衡混频器前后所需的滤波器不同。把记录通道改为重放通道时只需把 4.43MHz 带通滤波器改为 1.4MHz 的低通滤波器,用来分离出 627kHz 的色度信号频谱。因此只要改变输入输出端滤波器,重放和记录完全可以共用一个主通道。其它如 ACC、ACK 电路都可以公用。

从频谱搬移的角度看,记录时将频谱向下搬移称为降频,重放时再将频谱向上搬移回到原处称为升频。

与记录过程相比较,重放色度通道有以下几个特点:

(1) 4.43MHz 彩色副载波相位的恢复

在记录过程中,是通过改变本振 5.06MHz 信号的相位,达到改变 4.43MHz 色副载波相位的目的,这里改变的是色副载波的相位。

重放时,需要将滞后 90°的 627kHz 信号(B 场)还原成相位为 0°的 4.43MHz 信号,这就需要 5.06MHz 信号相位在 B 场时仍要逐行滞后 90°。这样,就使原来逐行滞后的 B 场信号恢复了原来 0 相位。这个道理可用下式说明:

图 13-28　色度重放通道方框图

$\cos(2\pi \times 5.06\text{MHz} \times t - 90°) \cdot \cos(2\pi \times 627\text{kHz} \times t - 90°) = \cos(4.43\text{MHz} \times t + 0°)$

如果重放时,B 磁头拾取了 A 磁迹信号,那么由于原来 A 磁迹信号相位是逐行不变的,经平衡混频器后,串入 B 场的 A 磁迹信号反会逐行滞后 90°。

(2) 消除相邻磁迹色度信号的串扰

重放时，如果视频磁头跟踪不准，相邻磁迹信号虽然也从磁头进入重放通道，但由于其信号频谱与主磁迹信号频谱有 $1/4f_H$ 的间隔（记录时由 B 场信号逐行滞后 90°实现），只须用 2 行延时器组成的梳状滤波器就可以消除邻迹信号的串扰，见图13－29。

直接进入梳状滤波器的第 n 行信号与延迟两行的前两行信号即($n-2$)行相加,由于主信号反向相同,相加器输出的信号幅度相加,为直接拾取信号的 2 倍。串扰信号由于方向相反,幅值相消。结果在梳状滤波器输出端只有主磁迹信号,有效地消除了邻迹彩色信号的串扰。

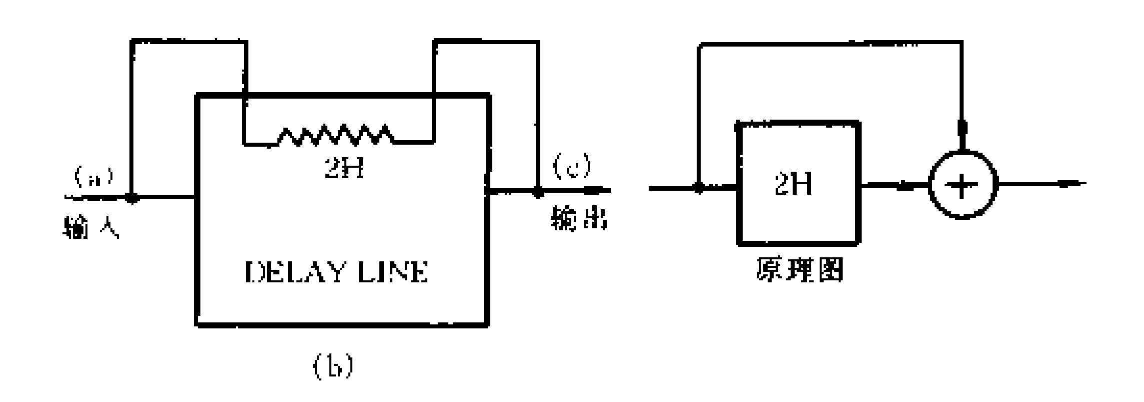
(3) 伪时基校正电路

录像机的时基误差对色度信号的相位影响较大。用模拟电路的方法来克服,但不能消除时基误差的影响,被称为伪时基校正电路。

伪时基校正电路的设想:由于记录时的时基误差影响,使降频色度信号 f_L(627kHz)中增加了频率抖动成份 Δf 和相位抖动成份 Δp,如果重放 5.06MHz 本振信号中也加入与输入信号 f_L(627kHz)同样的频率抖动成份 Δf 和相位抖动成份 Δp,则两种信号成份相减后就消除了 Δf 和 Δp 成份。

输入信号:$f_L + \Delta f + \Delta p$

本振信号:$f_c + \Delta f + \Delta p$



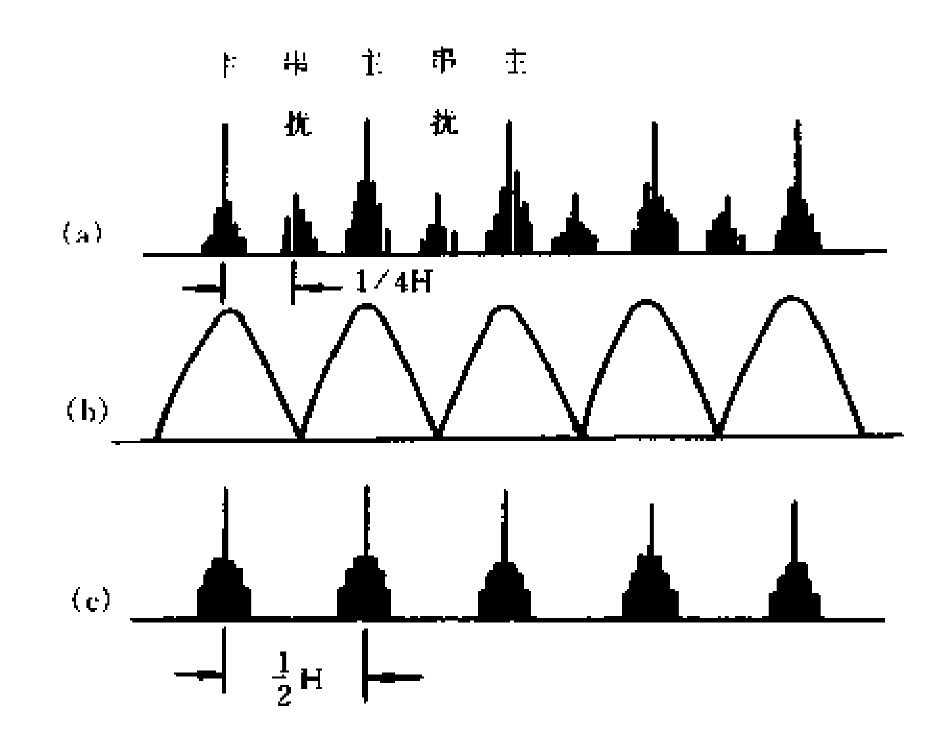


图 13－29　用 2H 延时器消除邻道信号干扰

输出信号：$(f_c+\Delta f+\Delta p)-(f_L+\Delta f+\Delta p)=f_c-f_L$ $=4.43$MHz

伪时基校正电路的工作原理简述(参见图 13－30)：

首先必须有一个稳定的 4.43MHz 振荡器和一相位比较器，带有 $\Delta f+\Delta p$ 成份的 4.43MHz 色同步信号与频率和相位都稳定的 4.43MHz 晶振信号相比较，其误差信号中就含有了 $\Delta f+\Delta p$ 成份，误差信号去控制 $321f_H$ 压控振荡器，使压控振荡器增加了

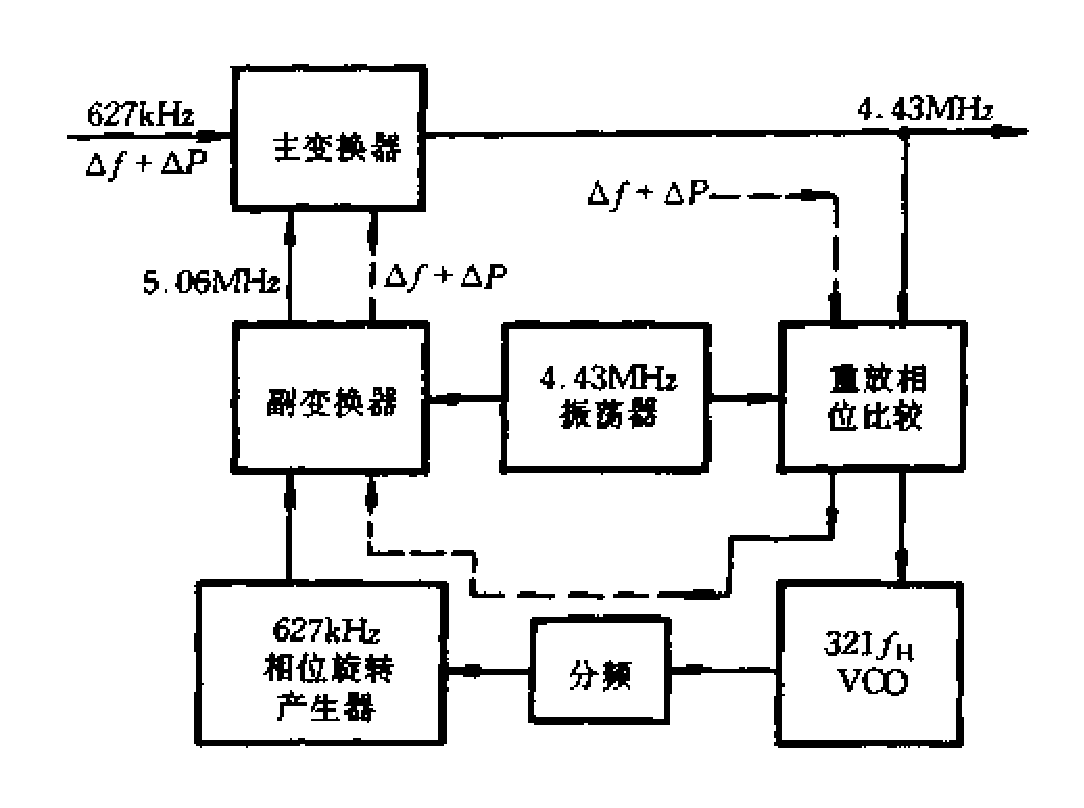


图 13-30 伪时基校正原理图

$\Delta f+\Delta p$ 成份,$321f_H$ 经分频成为 627kHz 信号,627kHz 信号经第二平衡混频器(副变换器)变为 5.06MHz 信号,则 5.06MHz 信号就增加了与输入信号相同变化的 $\Delta f+\Delta p$ 成份,这样两个信号在主变换器中相减,产生的差频中 $\Delta f+\Delta p$ 成份相消,得到稳定的 4.43MHz 色度信号。

这种校正电路当误差信号较大时,很容易使相位环路失锁,为此应加入一个频率检测器对 $321f_H$ 压控振荡器频率进行检测。当振荡信号偏离标准频率一定范围时,发出调整脉冲使振荡器很快回到所限范围内。

综上所述,伪时基校正电路的工作原理是:通过 4.43MHz 色副载波中的色同步信号(带有 $\Delta f+\Delta p$)与稳定的 4.43MHz 晶振进行相位比较(APC),送出误差信号调整 $321f_H$ 的频率和相位,并通过 627kHz 信号达到调整 5.06MHz 信号(使之也带上 $\Delta f+\Delta p$),的相位和频率,这样,在主变换器中,通道时基误差

$(627\text{kHz}+\Delta f+\Delta p)$与相位比较输出的时基误差$(5.06\text{MHz}+\Delta f+\Delta p)$相混合(减)后就消去了抖动成份$\Delta f+\Delta p$。

3.色同步相位校正电路

因为视频信号中的色同步信号是按135°,225°的规律逐行交替变化的,重放相位比较器必然要把这种相位变化反映到输出端的误差信号中去,这样就会引起$321f_H$振荡器产生7.8kHz的半行频率变化,这是一种干扰,必须把这种变化消去。为了使压控振荡器的频率每行相位都不发生偏移,附加了色同步相位校正电路。

色同步相位校正电路的作用,是产生一与色同步信号相位变化相反的信号,它与色同步信号相加的结果就消除了按半行周期变化的误差信号。但如果信号有失落或时基误差较大,使色同步调整脉冲与压控振荡器的输入脉冲同相时,则两波形相加不但不能低消,反而使幅度增加一倍,故电路设有误差检测,根据检测出的相位产生相应的调整脉冲,调整脉冲的波形与相位比较器输出的半行频误差信号相抵消。

第三节 伺服系统

录像机工作的基本条件是机器必须正常运转。能够保证电机按规定速度和相位旋转的控制系统称为伺服系统。由于录像机是通过磁头和磁带的高速旋转来完成对视频信号的记录或重放处理的,转速正常与否直接影响到对视频信号的处理结果和质量。因此磁鼓电机和主导轴电机的运转是否平稳就显得至关重要。

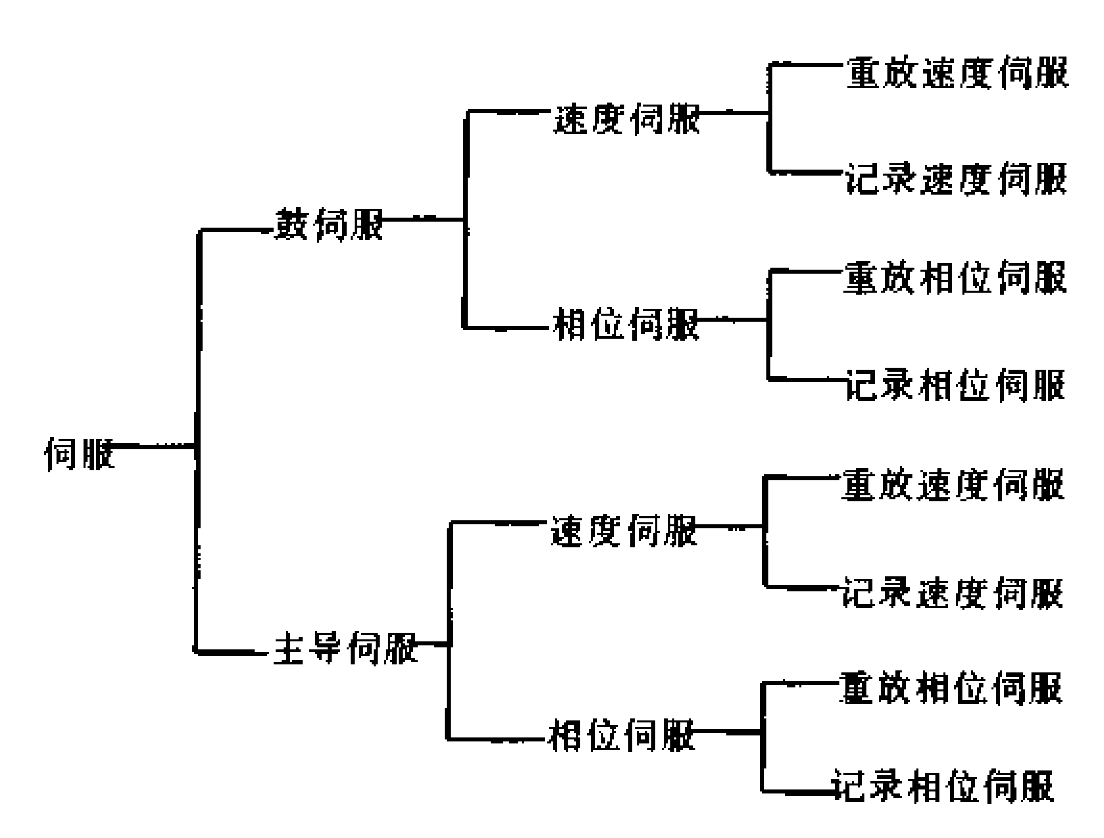
一、伺服控制原理

伺服系统的任务是控制磁鼓电机和主导轴电机旋转的相位

和速度，以保证视频磁头扫描的准确性和稳定性。不论主导伺服还是磁鼓伺服，每个电机的伺服系统都有速度伺服和相位伺服两部分组成。速度伺服是对电机速度的粗调，以保证电机的运转速度稳定而相位伺服是对电机速度的细调，以保证电机运转相位的正确。

1.速度伺服与相位伺服的关系

无论是主导轴伺服系统还是磁鼓伺服系统，其速度和相位伺服电路都由重放和记录伺服两部分组成。录象机伺服系统的结构如下：



速度伺服与相位伺服的相互关系是，由很低的速度或很高的速度控制到预定速度是速度环路的任务。在预定速度上下进行精确控制是由相位环路进行控制的。

伺服系统开始工作时，首先由速度环路将电机速度“牵引”到相位环路的控制范围，然后相位环路开始并一直维持对电机

速度的精确控制，如图 13－31 所示。当电机速度由于某些原因，超出相位环控制范围时，速度环马上起控把速度拉回到相位环的控制范围。相位的控制，是通过控制电机的瞬时转速来实现的。

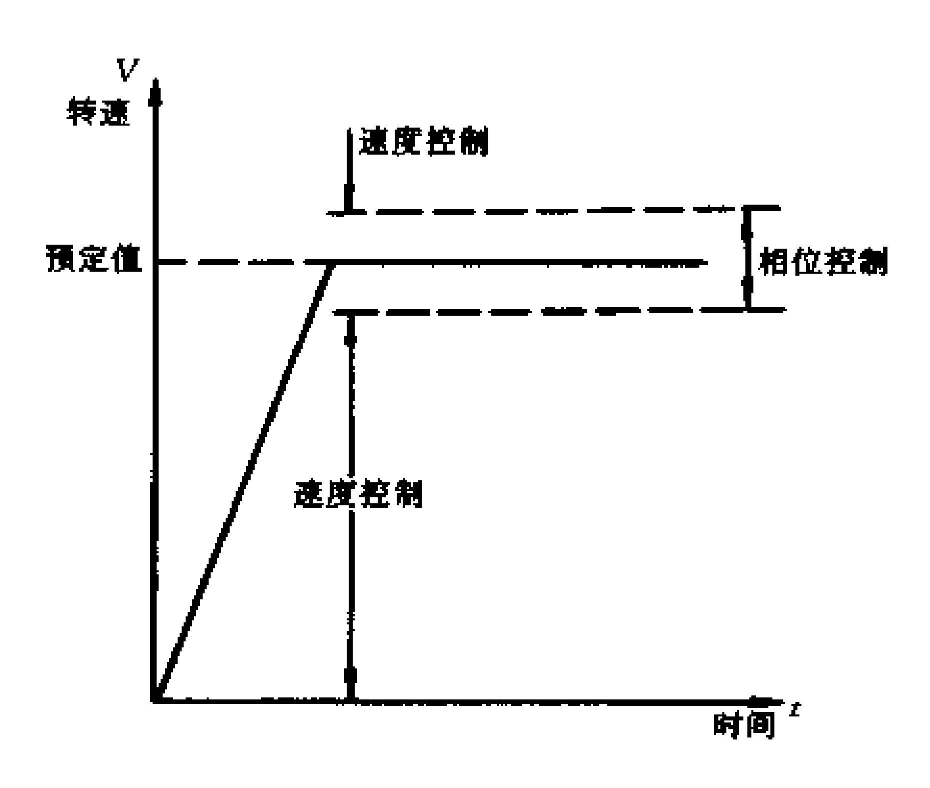


图 13－31　速度伺服与相位伺服的关系

2.伺服系统的工作原理

伺服系统是一个闭合环路系统。在伺服系统中，PG 和 FG 信号分别是电机相位和速度的检测信号。FG 信号时刻监测着电机的转速，PG 信号的相位则代表了 A 磁头的机械旋转位置。

相位比较器和速度比较器在电路结构上有所不同。相位比较器有两个输入端，一个端予输入基准信号，另一端予输入比较信号。而速度比较器只有一个输入端子，速度比较器实际上是一个频率比较器，一般将各种状态下的标准速度值固化在速度比较器的 POM 中，即以集成块内部的标准频率为基准进行比较，故速度比较器只有一个输入端予。

(1) 速度环工作原理:电机转动时,速度检测器产生与电机速度成正比的 FG 信号。FG 信号经比较信号产生器(分频器)产生比较信号,比较信号在速度比较器中,与 ROM 中提供的标准频率信号相比较(鉴频),如果与标准信号相同,则误差为 0,否则会产生正负误差。在误差控制电路中,以比较器提供的误差为依据对电机速度进行修正,直至使比较器产生的误差减小到零。

(2) 相位环工作原理:相位比较信号与基准信号进行鉴相(APC),输出误差信号与速度环误差信号合成后去调整电机的转动相位。

在记录和重放两种状态下,磁鼓相位伺服比较器和主导轴相位伺服比较器输入的基准信号和比较信号均不同,见表 13－1。

表 13－1 相位比较器的输入信号

	鼓伺服		主导伺服	
信号 方式	基准信号	比较信号	基准信号	比较信号
记录	场同步信号 (V_{SS})	磁头切换电压 H.SW (PG)	4.43MHz 分频	主导 FG 信号
重放	4.43MHz 分频	磁头切换电压 H.SW (PG)	4.43MHz 分频	CTL

3.数字伺服系统

(1) 数字速度环路

数字速度比较电路实质上是数字鉴频电路。速度比较计数器通常只有时钟 4.43MHz 信号和比较信号(FG)输入如图 13－32(a)所示。计数器对时钟脉冲进行计数,计数时间由 FG 信号来控制。在 FG 的上升沿开始计数,下降沿停止计数,由于 FG

信号是对称方波，每周期计数一次，由 FG 半周期内所含时钟脉冲的个数来测量 FG 的频率，如图 13－32(b)所示。各状态下 FG 的标准数值已固化在集成块的 ROM 中，其读取由系统控制板的状态数据信号控制。

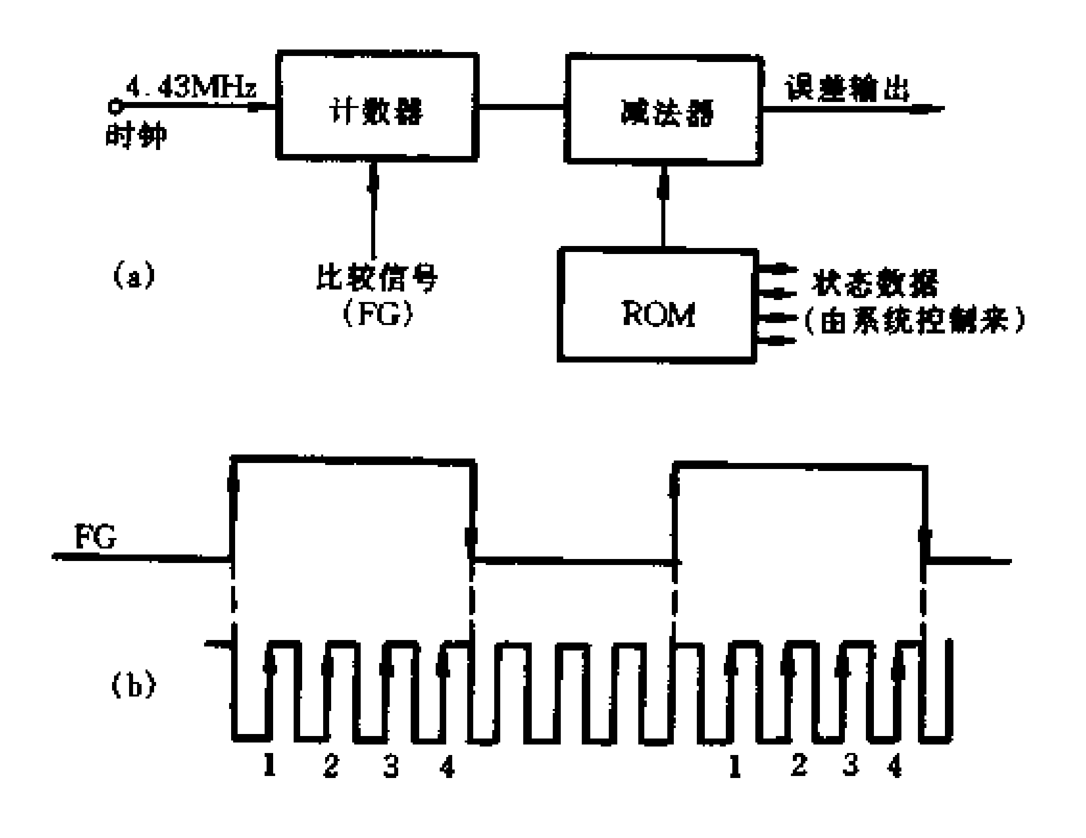


图 13－32 数字速度伺服电路

(2) 数字相位环路

相位比较电路是鉴别基准信号和比较信号之间的相位误差，比较的结果送给脉宽调制器，最后通过低通滤波器 LPF 变为直流电压去控制电机的转速，见图 13－33。

数字相位比较电路的输入信号有三个：① 基准信号，② 比较信号(H.SW)③ 时钟信号。实际上，计数器只对 4.43MHz 时钟信号进行计数，基准信号和比较信号是计数器的控制信号，基准信号上升沿到来时刻开始计数，比较信号的下降沿时刻终止计数。

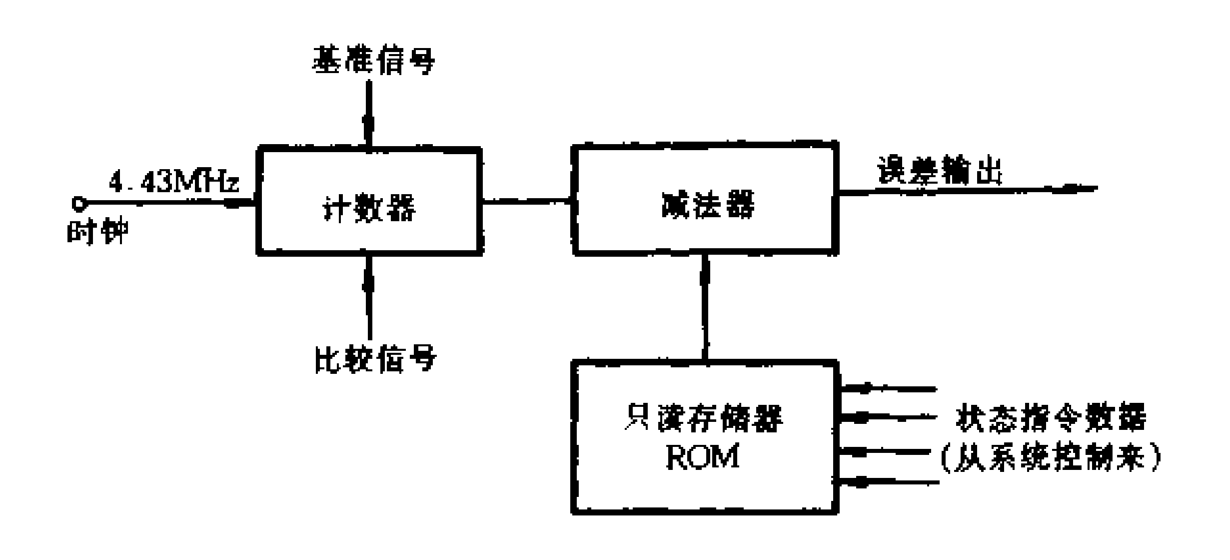


图 13-33　数字相位伺服电路

(3) 脉宽调制器(PWM)

上述速度和相位伺服环路输出的数字误差信号是表示数字的脉冲信号,数字误差信号不能直接通过低通滤波器 LPF 提取出直流成份,而必须通过脉宽调制器将数字误差信号调制成脉冲宽度信号。

加入脉宽调制器的目的是把代表不同数字的脉冲信号用不同的脉冲宽度反应出来,不同宽度的脉冲信号通过 LPF 就可以变成不同的直流电压值,见图 16-34。

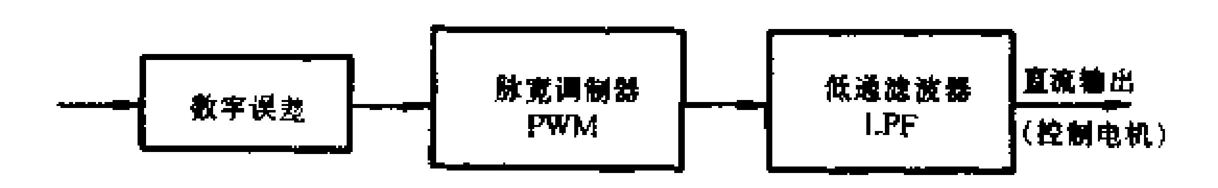


图 13-34　数字伺服电路结构

数字脉宽调制器的输出应满足这样的要求:当误差 $e=0$ 时,脉宽调制器(PWM)应输出对称方波(占空比为 50%),当误差增大或减小时,输出的脉冲宽度应在占空比 50% 的基础上发生相应的变化。

4.伪场同步脉冲及其作用

在非正常重放状态，如静像，慢动作，向前、向后搜索时，由于主导电机速度已不是正常重放速度，则磁头在磁带上扫描轨迹不再是每场时间只扫描一条磁迹。由于场同步信号都在一场磁迹的开头处，因此在B场的开头处，场同步信号电平太低以至被杂波淹没。场同步信号太弱，电视接收机中的场同步分离电路无法提取出场同步信号，于是就会造成场不同步现象。

为了使电视机在非正常重放状态下画面也能同步，需人为加入一定幅度的场同步信号，这就是伪场同步(模拟场同步)信号。为此目的，人为地在场消隐期间插入新的场同步脉冲，插入位置一般都超前原场同步头位置。伪场同步脉冲宽度一般为140μs(6.25H)。

二、磁鼓伺服系统

1.磁鼓伺服的功能

(1) 在正常记录或重放时，保证磁头鼓旋转一周的时间对应视频信号一帧的时间。

对PAL制视频信号而言，场频为50Hz，帧频为25Hz相应的鼓电机运转速度为1500rad/min。换言之，磁鼓伺服的作用之一就是确保电机以1500rad/min的速度匀速旋转。

(2) 保证磁鼓相位与磁带相位同步运行。

重放时，要求A磁头扫描A磁迹，B磁头扫描B磁迹。为使A磁头重放时准确跟踪A磁迹，必须在记录A磁迹时，在磁带上记录上相应的识别信号，即控制信号(CTL CONTROL)。为使CTL信号能与磁头A相锁，必须使CTL信号与代表A磁头相位的PG信号相锁。PG信号是通过位于A磁头下方的一对小

磁极与霍尔元件产生出的感应脉冲信号。

重放时，磁头 A 与磁带上 A 磁迹的跟踪同步是靠记录在磁带上的 CTL 信号来实现的。其同步过程如下(参见图 13－35)：

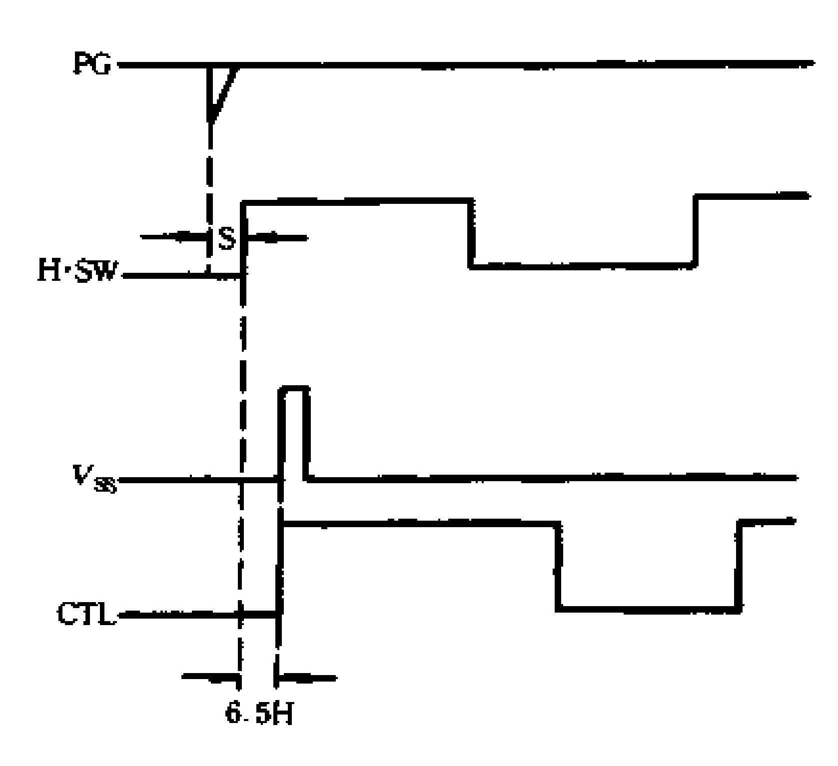


图 13－35 磁头 A 的同步过程

PG 脉冲是代表了 A 磁头位置的电信号，CTL 信号是磁带上 A 磁迹的识别信号。由于 PG 脉冲产生磁头开关脉冲 H.SW，磁头开关脉冲与 PG 脉冲的间距是固定值 S，这样 H.SW 脉冲前沿的变化就代表了 A 磁头位置的变化。记录时的 CTL 信号是由视频场同步信号 V_{SS}产生的，即 CTL 信号的宽边前沿与场同步信号前沿是对齐的，由磁头开关切换点知道，场同步前沿距磁头开关脉冲上升沿 6.5H ± 0.5H。故，CTL 信号宽边前沿也与 H.SW脉冲前沿间隔 6.5H ± 0.5H，这样，若重放时 H.SW 脉冲与 CTL(实际上是场脉冲)距离始终维持 6.5H ± 0.5H，那么就实现了 A 磁头对 A 磁迹的准确跟踪。或者说，实现了磁带与磁鼓的同步和相位锁定。

(3) 实现行同步。

磁鼓与磁带的任何相对速度的改变，都将对行同步产生影响。尤其是鼓速度对行同步的影响最大。这是因为，在正常记录或重放时，每一场包含 312.5 行，当鼓速度超过正常值时，每单位时间内扫过的行数将增多，相当于行间隔小于 64μs。鼓速慢于正常值时，相当于行间隔大于 64μs。

维持行同步的关键是要维持磁鼓与磁带的相对速度不变。这是因为，VHS 录像机严格规定电视机要保持行同步，显示出整幅图像，必须严格地保证磁鼓每分钟均匀转动 1500 转的这一原则。

2.磁鼓伺服电路

磁鼓伺服电路的基本结构如图 13－36 所示。

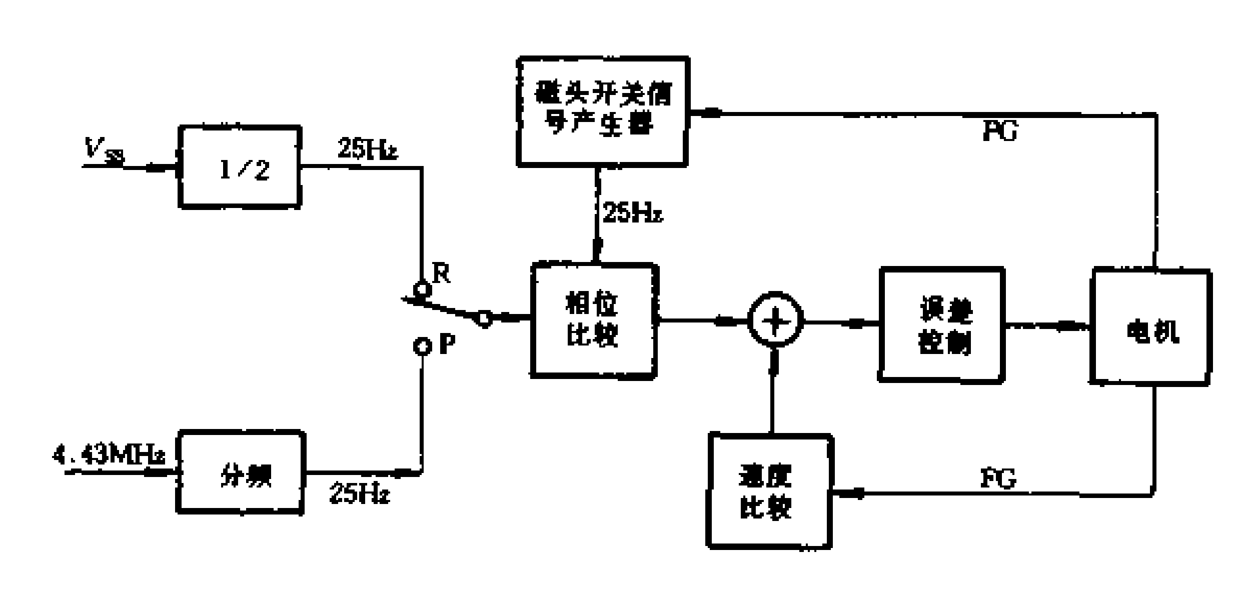


图 13－36　磁鼓伺服电路简图

(1) 鼓速度环路

鼓伺服的速度环路系由电机中的霍尔元件产生出的 FG 信号与速度比较器中固化的标准值相比较。产生出的比较误差信号对电机速度进行控制。

(2) 鼓相位环路

鼓伺服相位环路的比较信号在记录和重放状态都是 PG 脉

冲,严格地讲,是由PG脉冲形成的(实际上是PG脉冲和FG脉冲共同产生的)磁头开关脉冲H.SW(方波),而基准信号在记录和重放两种状态下是不同的。记录时基准信号选用视频信号中的场同步脉冲,而重放时基准信号选用4.43MHz晶振(分频)信号。

A)记录状态鼓相位伺服环路工作过程

记录状态,视频磁头的相位应与将要记录的视频信号同步,在视频场同步头前沿6.5H的时刻视频磁头应准时到达机械切换点。为此,鼓旋转相位应与场同步信号同步,即应该以从视频信号中提取的场同步信号(V_{SS})作为基准信号,以代表电机相位(与A磁头相位对应)的PG信号作为比较信号,在锁相环中,用记录信号的场同步信号V_{SS}与PG信号相锁定,这样就使鼓电机的相位与记录信号同步了。这种同步严格地说,是使机械切换点(H.SW)始终超前场同步信号6.5H的时间。

B)重放状态鼓相位伺服环路工作过程

鼓电机在重放状态主要应解决两个问题:① 与记录时运转速度相同。② 与磁带的运行相位同步,即解决A磁头重新扫描A磁头原来记录的A磁迹,B磁头扫描B磁迹。为实现这两个目的,在重放状态鼓相位和主导相位都以4.43MHz分频的25Hz信号作为相位基准。

重放状态鼓相位基准信号不能再选用场同步脉冲V_{SS}的理由是,因为记录在磁带上的信号已带有时基误差,并且因失落而有可能造成基准信号(场同步脉冲)的中断。

3.鼓电机驱动电路

(1)鼓电机内霍尔元件其作用

鼓电机霍尔元件安装在下鼓内的定子上,电机转子上固定着旋转磁环。旋转磁环上的6对S-N磁极在随鼓旋转的过程中

轮流扫过霍尔元件并产生出交变电压 V_m。把由霍尔元件直接获得的霍尔电压 V_m 叫作位置信号，把位置信号转化为三相时序控制信号的任务是由鼓驱动电路内的位置信号处理电路来完成的。因此，磁环和霍尔元件的相对位置决定着拾取位置信号的质量和有无。

在机械设计上，把磁头对刚接触磁带拾取信号开始的瞬间，正好是第一对 S-N 定位磁极扫掠霍尔元件产生第一个 PG 脉冲的时候，即 A 磁头扫描开始的时刻。鼓电机霍尔元件的作用有两个：

① 作为电机速度和相位的检测元件，即由位置信号处理电路把两个霍尔元件产生的信号变成 FG 信号和 PG 信号。其中 FG 信号作为鼓速度伺服比较信号，直接送到数字速度比较电路进行速度比较。PG 信号和 FG 信号一起产生出磁头开关脉冲信号 H.SW，H.SW 脉冲的相位主要由 PG 相位来决定，即 H.SW 的相位代表着 A 磁头的相位。H.SW 脉冲作为鼓相位比较信号，送到相位比较电路与基准信号进行相位比较(APC)。

② 为电机提供激励信号。即由位置信号发生器把霍尔元件拾取的信号变换为电机旋转所需的三相时序控制信号。

(2) 电机驱动电路的工作过程

电源开启瞬间，差分放大器有激励脉冲，电流流过某一绕组。电机只要一转动，霍尔元件立即产生位置信号，位置信号处理电路将位置信号转变为三相时序控制信号送到差分放大器，差分放大器末级有三个功率放大管，每个时序信号按顺序打开一只晶体管，使三个绕组顺序接通驱动电流，这样电机在旋转磁场的作用下，就会运转起来。

三相时序控制信号的作用只是控制每相绕组的导通时序，绕组所通过驱动电流的大小由伺服误差控制电路提供(此电路

也叫做力矩控制电路)。因此,伺服信号电压的高低就反映了电机转速的高低,当电机的速度和相位都锁定时,伺服信号电压就是一个恒值。当电机转速因某种原因下降或上升时,引起伺服信号电压值的下降或上升。经转矩控制电路的控制,电机转速就会回到规定的值上。

电机共有3个主线圈,每个主线圈有3个绕组,共有9个绕组,9个绕组均匀分布,可使电机力矩平稳。绕组通过的电流越大电机的转速越快。

三、主导轴伺服系统

1.主导轴伺服的功能

(1) 在正常记录和重放状态下,保证带速以每分钟23.39mm的速度运行。23.39mm/s速度意味着0.0486mm宽的视频磁头每秒钟刚好可以无间隔又不重迭的扫描50条磁迹。

(2) 与视频磁头鼓同步运行。

磁鼓与磁带相位相锁主要是为了解决A磁头扫A磁迹,B磁头扫B磁迹的目的。同时使磁头跟踪更加精确,即不满足于A磁头扫A磁迹,还要达到使磁头沿磁迹的中心线扫描。

由于磁鼓运动轨迹是恒定不变的,要使磁头对准磁带上的位置,须使磁带相对磁鼓左右移动。在电路上,是靠调整跟踪电位器(TRACKING)来实现的。

(3) 实现场同步。

带速的变化对图像场同步影响最大。在重放时,原记录在磁带上的场同步信号(V_{SS})位置应是V_{SS}被拾取时刻鼓上视频磁头位置与磁带的交点(切换点)。当带速高于正常速度时,视频磁头在一场的时间内可能要跨越好几条磁迹,画面上出现好几条杂波带。

2.主导轴伺服电路

主导轴伺服电路的基本结构如图 13－37 所示。

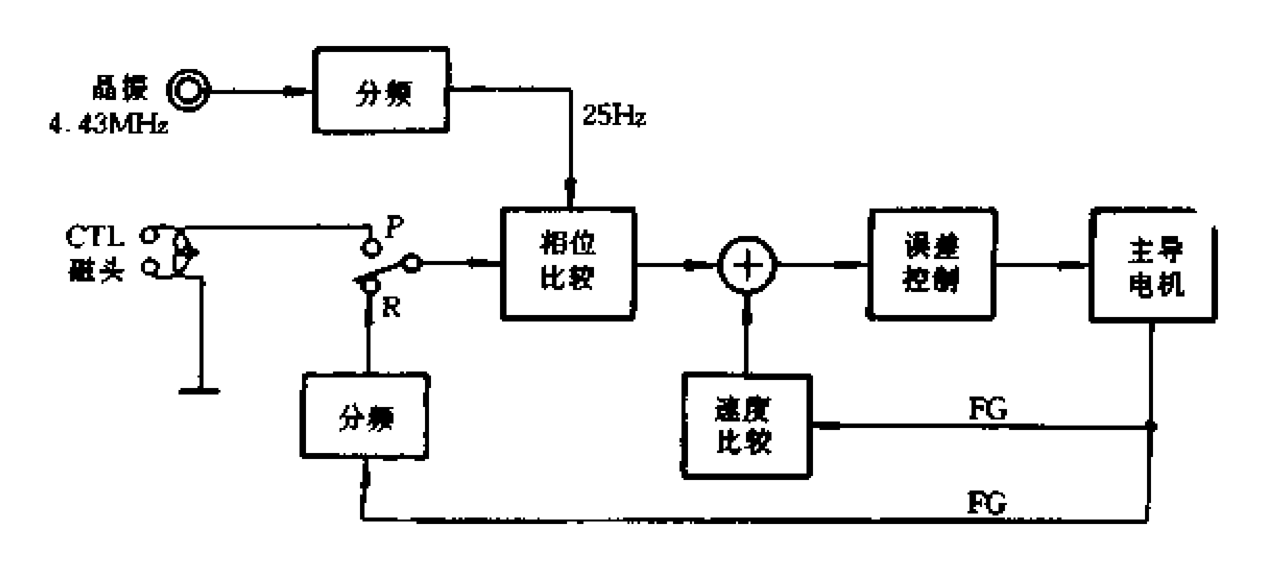


图 13－37　主导轴伺服电路简图

(1) 主导速度环路

主导伺服的速度环路系由电机中的霍尔元件产生出的 FG 信号与速度比较器中固化的标准值相比较。产生出的比较误差信号对电机速度进行控制。

(2) 主导相位环路

主导伺服电路中的 CTL 磁头作用是，记录时把由场同步信号 V_{SS}产生的 CTL 信号记录在磁带上，重放时该磁头从磁带上拾取 CTL 信号，经处理后，作为比较信号送到主导轴相位伺服电路。

与鼓伺服相反，主导相位伺服电路在不同状态下的比较信号是不同的，而基准信号却总是不变的晶振 4.43MHz 信号。这样选择基准信号是基于这样的考虑：主导电机速度是否精确平稳是减少时基误差的根本，在记录状态对磁带来说没有相位问题。即信号从磁带的哪一段开始记录都无关紧要，既然无相位问题就可以不用场同步 V_{SS}信号作基准信号而采用晶振4.43

MHz 信号。而且由于记录和重放都采用同一信号源作基准,还可以使记录和重放时的带速一致。记录和重放状态所选用的比较信号不同,是由于记录状态只能以主导轴电机产生的 FG 信号代表磁带的速度,而重放时,则可以以记录在磁带上的 CTL 信号代表带速,也只有 CTL 信号才能真正反映磁带的运行速度,而且磁带在重放状态要有严格的相位关系,磁带的超前或滞后直接关系到是否能使 A 磁头扫 A 磁迹以及精确磁迹跟踪的问题。

主导电机为什么只有 FG 信号而没有 PG 信号呢? 因为整个录像机的伺服系统最终要解决的关键问题之一,是视频磁头与视频磁带两者的同步问题,而且对鼓来说,无论记录或重放都存在着相位的问题,而主导电机在记录状态无相位问题,在重放状态,由于记录在磁带上的 CTL 信号已经可以代表磁带的相位,所以主导电机就不须再产生 PG 信号了。在此意义上讲,CTL 信号就相当于主导伺服中的 PG 信号。

3. 主导电机驱动电路

(1) 主导电机内霍尔元件及其作用

① 主导电机霍尔元件只担负产生位置信号的任务,而不产生 PG、FG 信号。产生 FG 信号的任务由专门的 FG 磁头担任。FG 信号是由在主导电机最外面的飞轮上的若干对 NS 磁极产生的。

② 霍尔元件产生的位置信号使驱动电路的晶体管两两顺序导通。

(2) 电机驱动电路的工作过程

与磁鼓电机一样,主导电机的旋转是靠主导轴驱动电路送出的三相相位差为 120°的驱动电流来驱动的。驱动电流又受控于差分放大电路送出的三相驱动控制电压,而差分放大电路又

由"位置信号处理"电路来控制。这些信号都来源于主导轴电机组件的霍尔器件。

主导电机也有三个主线圈。因为主导电机的转速比磁鼓的转速慢得多，而且主导电机既要正转又要反转。为了满足换向快的要求，主导飞轮应做得质量小一些。但是，在正常重放和记录工作状态时又要求主导飞轮尽可能地旋转平稳，这就应该使主导飞轮做得质量大一些。解决这个矛盾的办法是，在主导飞轮上附加一个"刹车"装置，当重放工作时，"刹车"机构附着在主导飞轮上，使主导飞轮平稳旋转。

第四节　系统控制电路

系统控制电路是整个录像机的核心。系统控制电路具有自动控制，自动故障诊断和自动保护功能，是录像机的控制指挥中心。

系统控制电路是通过信息处理、变换和传输等方式将录像机的各种机构和电路构成一个智能化的整体。

一、系统控制原理

控制系统的主要控制功能，一是实现"人机对话"，即接受操作人员通过键盘或遥控器发出的指令，并使录像机的各部分按照操作指令进行动作。二是完成机器各种工作状态的自测，并实施自动控制和自动保护。三是利用多功能显示器，将录像机的各种工作状态和工作模式显示出来，并且还能显示时间，这是由定时微处理器和多功能显示器来完成的。

1. 微处理器的结构和工作原理

系统控制电路的核心是微处理器。

录像机需要控制的对象很多，如果采用一般的逻辑电路来控制，其机构将是很庞大而复杂的。现代录像机的系统控制都毫不例外地采用了微处理器来进行系统控制。

(1) 微处理器的结构

微处理器与微计算机是有区别的。微处理器只是微计算机的核心部分，其本身不具有完整的运行功能，微处理器的英文(COMPUTER)缩写为 CPU。图 13－38 给出了微处理器的基本结构示意图。它由运算器、存储器单元(只读存储器 ROM 和随机存储器 RAM)控制单元、输入单元和输出单元等五部分组成。ROM、RAM 和接口分别通过三条母线(地址母线、数据母线、控制母线)与中心处理单元 CPU 相接。

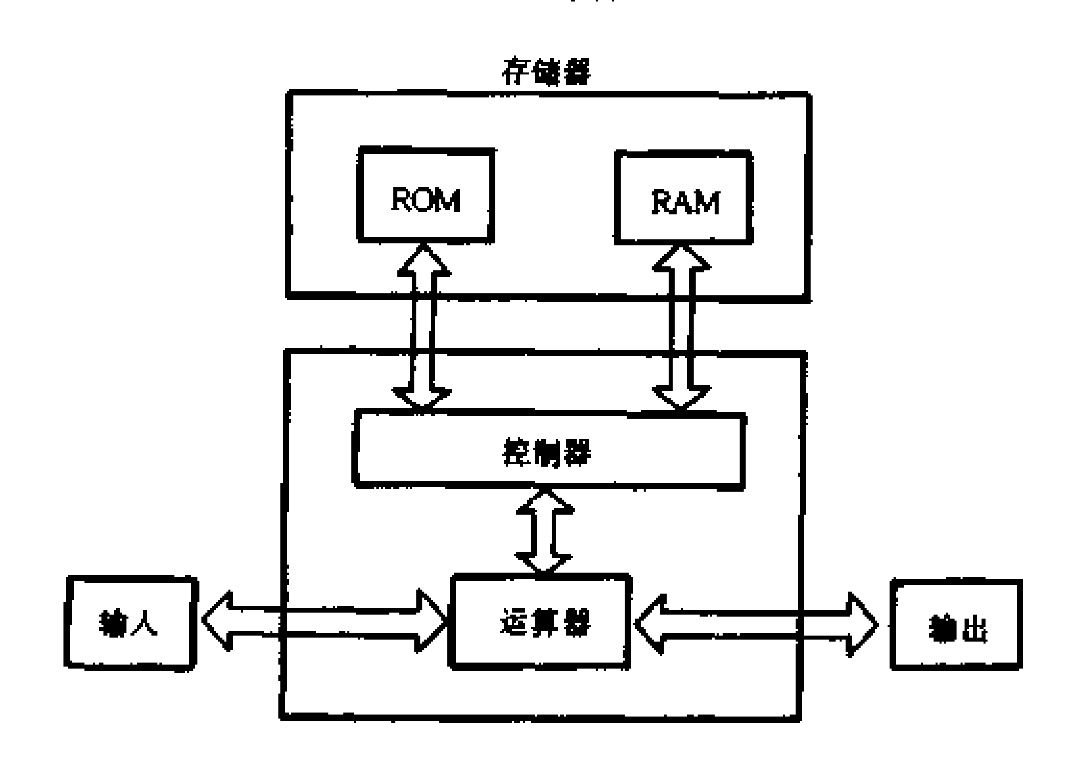


图 13－38　微处理器基本结构图

① 运算器。运算器也叫做算术逻辑单元 ALU，是微处理器的重要组成部分。各种数据和信息在这里进行运算，运算的形式由控制信号所决定。被处理的数据可由存储器或输入单元输入，运算的结果则送到存储器或输出单元中去。

② 存储单元。存储单元用来存储各种指令及数据，也常常用来存储中间或最后的运算结果。CPU 是通过地址信息来访问存储单元的。在控制单元的控制下，可将从 ALU 单元或输入单元来的信息写入存储器，或者将信息从存储器读出而传送到 ALU 单元或输出单元。

只读存储器 ROM 是一种只能读出而不能写入的存储器。一些固定的指令程序和应用数据都固化在 ROM 中。ROM 中的内容一经固化后不能再修改。

随机储存器 RAM 是一种即可随时写入又可随时读出的存储器，RAM 中的内容一断电就要消失，保存 RAM 中的内容只能不停电。所以 RAM 主要用来保存用户的程序和数据。例如带盘转数和定时数据等都存放在 RAM 中。

③ 输入单元。输入单元的作用是接收外部的数据信息，并将它们再传送到存储器或者 ALU 单元。信息的传送方向受控制单元的控制。键盘是最常见的输入设备之一。

④ 输出单元。输出单元在控制单元的控制下，将存储器或者 ALU 单元内的数据和信息传送到外部设备。显示器和打印机就是最常见的外部设备之一。

输入/输出接口(I/O)的种类很多，其作用大体上可归纳为两类：一类作为数据的暂存设备。第二类型的接口是把并联数据传输转换成串联数据传输。或者把串联数据传输变为并联数据传输。在家用录像机中经常用这样的 I/O 接口。

⑤ 控制单元。控制单元向其他单元提供时钟和控制信号。控制单元对存储器发出一个地址信号和一个读命令，就可以从存储器中提取出一条指定的指令或程序。这条指令被传送到控制单元，在控制单元中，对指令进行解码便得到了相应的信息，再利用这些信息就可以产生出控制信号去执行指令了。

(2) 微处理器的基本工作原理

微处理器的基本工作过程是这样的，首先由输入单元将程序和数据送入存储器中，然后程序中的指令逐条输入到控制器中进行译码和执行。在指令被执行的时候，就把所需要的数据送到算术逻辑单元去运算，运算的最终结果则被送至输出部件。

必须指出，微处理器的内部逻辑电路是不能简单地从外部加以控制信号来进行控制的，它只能以软件的方式加以控制。换句话说，只有将程序放到存储器中，并通过微处理器内部的逻辑运算才能影响到微处理器内部的电路功能。这就使得微处理器变得十分灵活、多用。当要想改变微处理器的对外控制功能时，只要简单地改变一下写给微处理器的程序即可实现。

微处理器(CPU)主要有六个作用：

① 建立并提供系统的时钟频率基准(时序)，确定每一单位时间要作的工作。

② 从存储器中读取和送出指令。

③ 取出或存入数据。

④ 进行逻辑运算和数值计算(包括计时和记数)

⑤ 接受并执行外来的控制信号。

⑥ 控制 I/O 接口，规定指令或数据从计算机的何处输入或输出。

2. 录像机的系统控制电路

实际应用的家用录像机系统控制单元是由单片微处理器组成的，ROM、RAM 和 I/O 接口都固化在专用单片微处理器之中。

(1) 控制系统的结构

微处理器中设有程序存储器和处理器。将编好的各种工作状态，运行步骤的程序事先写入只读存储器 ROM 中，当按动录像机的某个按键时，微处理器首先将此按键信息转换成相应的

地址代码，并从对应的地址单元中取出事先已存放好的程序，然后按已编好的程序下达指令，使录像机准确地进行工作。

家用录像机中的系统控制微处理器，大都采用 8 位的单片机。这种单片机与供电电源、操作面板（输入设备）、执行机构（输出设备）等组成了录像机的完整的微处理器控制系统。

从维修的角度来看系统控制电路，可以把微处理器 CPU 比做整个录像机的控制指挥中心。它接收外界的操作控制信息，并适时地对录像机内的执行部件发出动作指令，使之完成某种功能。在微处理器控制电路中输入给 CPU 的各种指令以及微处理器发出的相应控制命令，都是在 CPU 内部直接完成的。信息的传递过程没有一般概念中的直接的电流通路，但它的命令处理结果反映在 CPU 与之对应的功能输出端口的电平变化上。其逻辑关系模型如图 13－39 所示。

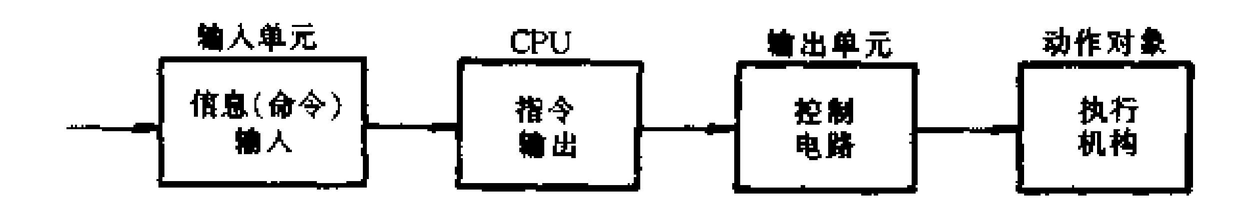


图 13－39　控制电路结构图

操作命令的输入可能来自操作面板按键或者红外遥控发射器。微处理器的信息输入端口就是其串联数据传输端口，所有的指令信息都被编码后以串行的方式送入微处理器 CPU 的数据输入端口。控制电路是用来对指令信息进行缓冲、分配、电平变换等的接口电路。执行机构是动作的对象或结果。

(2) 微处理器的数据传输

在家用录像机中，微处理器与显示设备之间的数据传输，或键盘与微处理器之间的数据传输为串行传输形式(SERIAL DATA)。采用串行数据传输，只需三条线：输入线、输出线以及时

钟线。时钟脉冲与输入或输出脉冲同步传输。

通过串行数据线传输的内容大致有两种，一种是要显示的内容(如 PLAY 字样)，另一种是"数字"。要传输的内容首先由微处理器编出与显示器对应的码字，这种码字和数字都是用二进制数字表示的。如果时钟脉冲与数据信号不是同步地传输，那将造成传输数据的错误。没有时钟脉冲，就无法读出所传输的数字。

(3) 系统控制功能

录像机的控制电路一般由系统控制和定时两块微处理器(CPU)及其外围集成电路组成。两个 CPU 以串行码的形式进行双工通信，互相传达操作人员所发出的命令和录像机各种状态信息，共同完成对整个机器的系统控制。

系统控制电路的主要控制功能如下：

① 操作按键的管理和执行。

② 检测并处理由传感元件送来的状态信息。

③ 接收和处理微动开关信息(或带盒滑动开关信息)。

④ 接收和处理状态选择开关信息。

⑤ 摄像机控制。

⑥ 计数器计数控制。微处理器得到计数信息后，发出计数指令和相应的数据使计数器计数。

⑦ 控制伺服电路。使主导电机和鼓电机驱动电路得到启动指令，并使其运行与视频和音频信号的记录和重放状态一致。

需要说明的是，系统控制电路并不控制伺服电路的运行过程，只控制伺服电路的运行状态。如重放、记录、非正常重放、快进、倒带等状态的转换。各种状态下的运转过程由伺服电路本身进行控制。

⑧ 视频、音频电路控制。微处理器主要控制音频、视频信号处理电路的工作状态转换。如按下 REC 键时，记录信号电路

不应马上工作，应等待机械部分穿带到位后，磁带开始运行时，记录信号电路才工作，这样就使时间座标点与长度点统一起来。

⑨ 控制显示电路。录像机中的显示有三种，一种是工作状态显示，另一种是计数显示，第三种是时间显示(定时显示)。

CPU 对显示板的控制主要是控制显示时间和显示内容。微处理器把要显示的内容(包括数字)编成串联数据送给显示板中的译码块，译码块译出要显示的内容驱动相应的显示部分。

⑩ 控制定时单元。定时电路的作用是使录像机按预定时间记录预先选定的广播节目。

⑪ 控制供电电源。微处理器直接控制供电电源。注意，录像机的电源开关实际上不是电源的直接接通器件，而是通过此开关发出电源接通指令，此指令送到 CPU，CPU 控制稳压 + 12V 和 + 5V 的接通。

(4) 键矩阵电路

位于录像机前面板上的各种按键或开关称为操作电路，不同的键对应不同的数据，微处理器对不同的键码识别后，发出相应的程序指令。如图 13－40 所示为最简单的键矩阵电路。

$K_0 \sim K_2$ 三个输出端引出三条线作为矩阵的列，$A_0 \sim A_3$ 四个输入端所接的四条输入线为矩阵的行(4×3 矩阵)。

加电后，$K_0 \sim K_2$ 就输出不同时序的键扫描脉冲。由于 $K_0 \sim K_2$ 输出脉冲的时序不同，当按下不同的键时，相应的输入端就可得到不同时序的脉冲输入。根据脉冲的时序，微处理器就可识别是哪个端子输出的。输出端子和输入端子的每一组合都可以定义一个按键。微处理器就这样确认键盘上的按键。不同按键按下时就得到不同的编码，反之，得到规定的编码就可以规定相应的按键。

上面介绍的编码方法只是举例而已，具体的编码方法不尽

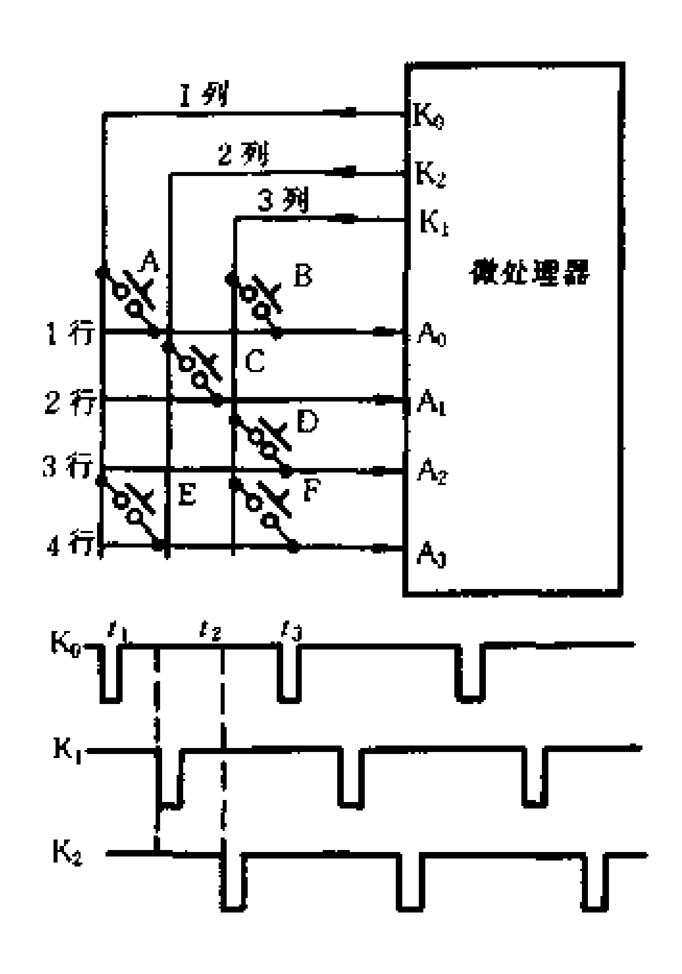


图 13-40 键矩阵电路

相同，但道理基本上一样。按下不同的键，就得到不同的编码，每一编码都与录像机的一种工作状态相对应。微处理器可以把这些编码作为相应工作状态程序的地址，当确认某一键被按下后，就从相应的地址取出工作程序，发出相应的指令，使录像机进入按键所对应的工作状态。

二、录像机中的保护停机电路

录像机的控制系统可执行三种停机方式：

(1) 机器在正常工作过程中按停机键(STOP)进入停机状态。

(2) 当机器完成某一项被指定的功能和任务后自动进入停机状态。

(3) 当CPU接收到安全检测传感器送来的故障信息后,微处理器发出停机指令,进入停机状态。

在这三种停机方式中,第一种停机方式属于正常停机。第二种停机方式是功能性自动停机。第三种停机方式则是一种自动保护性停机。

录像机的自动停机保护系统是进行自我诊断、自我保护的系统。为了维护录像机的安全,在录像机中设置了较完善的自动保护系统,有多种因素可使录像机进入自动停机状态。从维修实践来看,保护停机是控制系统故障的难点。解决此问题唯一的方法是要弄清录像机究竟有多少种自动保护措施以及它们在什么情况下实施保护。弄清这些方面就可以逐项排出引起故障的可能性,使机器脱离停机保护状态。

(1) 未装磁带保护

磁带未装人带仓前,面板上的所有功能键都不起作用。这一作用是由带仓右侧的"带盒开关"(CASSETTE SW)产生的。带仓内没有带盒进人时,带盒开关断开,指示未装进带盒。微处理器得到此信息自动使机器处于停机状态。这是一种保护性停机。

(2) 结露保护

当机器工作环境潮湿或磁鼓附近有结露(DEW)时,机器便自动停机,这是一种对磁头和磁带的保护措施。因为湿度过大,高速旋转的磁鼓会产生磁带缠绕磁头鼓的现象。

环境湿度是由位于机内磁鼓附近的结露传感器(湿敏电阻)来检测的。湿敏电阻(DEW SENSOR)是由电阻值随湿度变化的材料制成的。如图13-41(a),当相对湿度为90%时湿敏电阻的电阻值为5kΩ,当湿度增大到98%时其电阻值增加到50kΩ。结露检测电路如图13-41(b)所示。由于在不同的湿度下,湿敏电阻呈现出不同的电阻值,比较器输出电压也随之变化,因而

微处理器就能够根据湿敏电阻阻值的变化检测出环境的相对湿度。在潮湿工作条件下或冬季时录像带从室外刚刚拿到室内就放入带仓时，录像机将进行停机保护并显示“d”字样。这种情况下，或者改善环境条件，或者用吸湿材料将机器去湿。

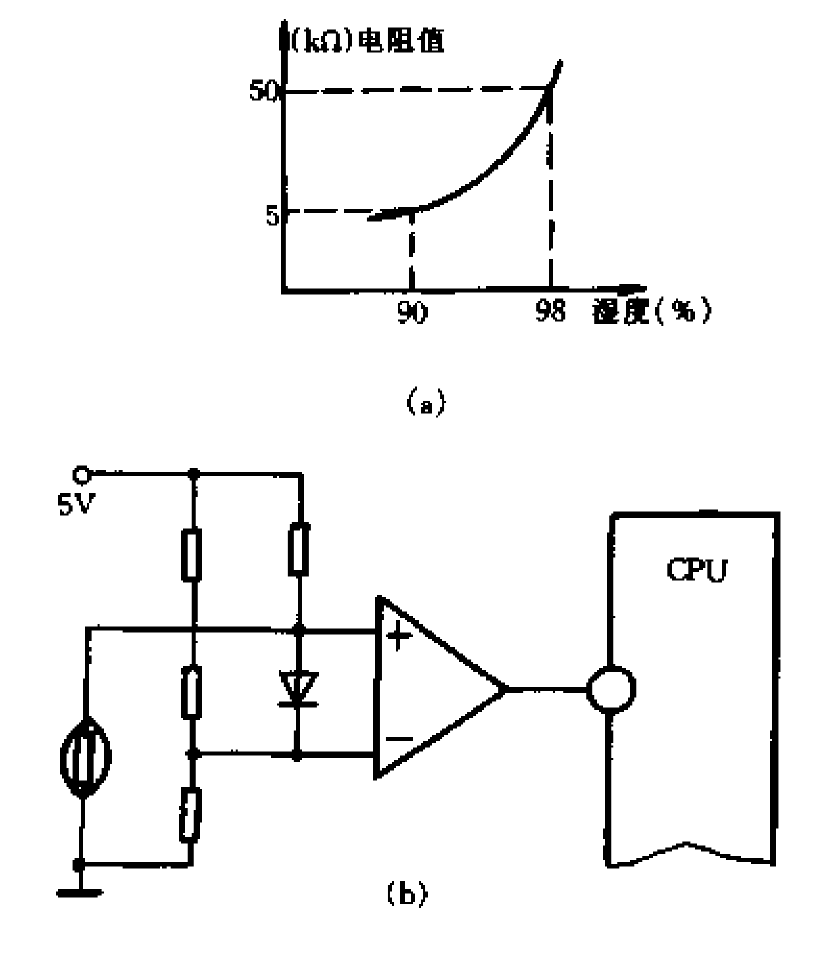


图 13－41　结露传感器

(3) 带头带尾保护

当倒带或倒放到带头时，机器自动停机。当重放或记录、快进到带尾时机器自动进入倒带状态，倒带完毕自动停机。这些动作叫带头带尾保护 。它是一种功能性停机保护。

录像机是利用光电传感器来检测带头带尾的。VHS 录像带的带头和带尾各有一段透明带，在带盒仓的两侧各有一个光敏接收管，盒灯（发光管）在带仓的中心处安置在底盘上，如图

13－42所示。光敏管在没有接收到光线照射时，晶体管是截止的，有光线照射时，晶体管饱和导通，输给微处理器一个低电位。收带侧检测到光电信号说明磁带到了带头处，称为带头检测；在供带侧检测到光电信号，说明到了带尾，称为带尾检测。由于收带侧光敏管一受光，机器立即进入瞬间快进后停机，所以在检修机器时，特别在检查走带情况时如果不装带，应将光敏管侧遮档住以免被台灯照射，机器底盘上的发光二极管也应遮档住。

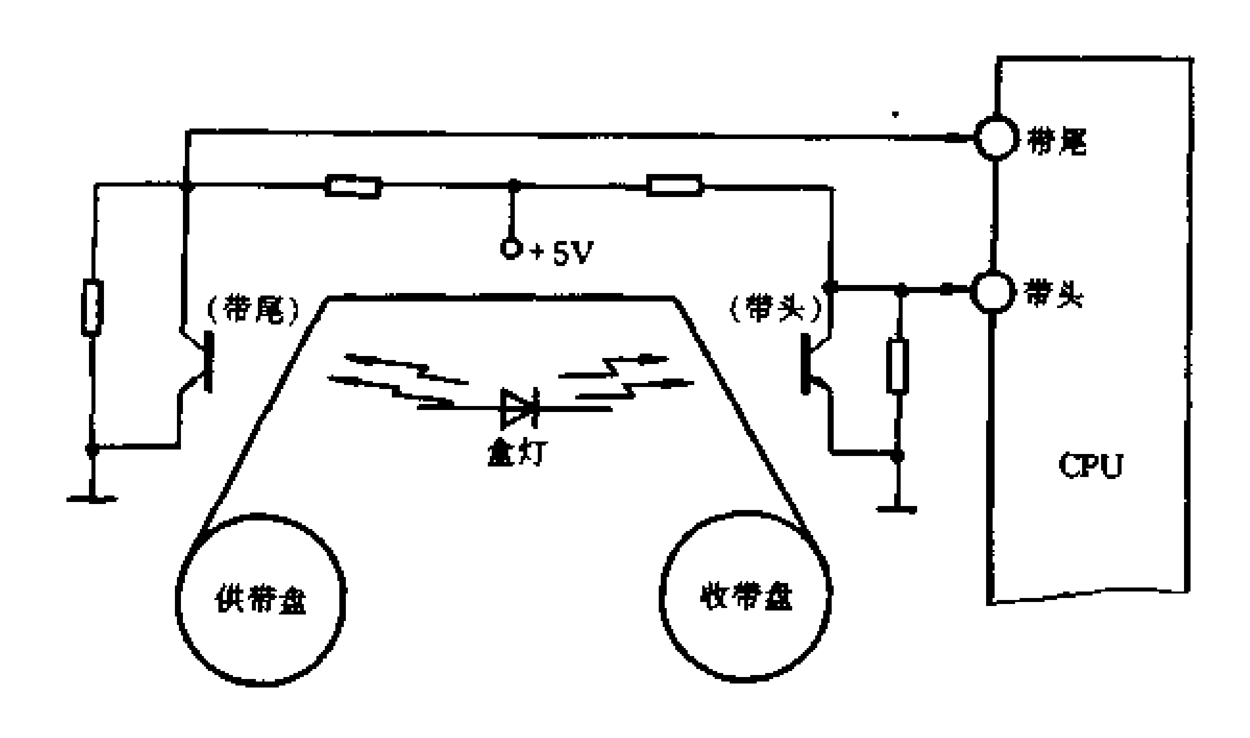


图 13－42　带头带尾检测原理

（4）磁鼓停转保护

在记录、正常重放或搜索状态时，磁鼓停转或转速过慢时，2～5秒钟后机器自动停机。这是一种保护性停机。

鼓转检测信号是鼓电机内的霍尔元件产生的磁头开关脉冲信号。这个脉冲信号的频率为25Hz。当磁鼓转速变化时，磁头开关脉冲的频率也会变化，因此磁头开关脉冲包含有磁鼓转动的信息。微处理器接收到磁头开关脉冲信号，就可以从这个脉冲周期的变化来监测磁鼓的转速。如果没有磁头开关脉冲信号(H.SW)

输入，则微处理器判定是鼓停转，并使录像机进入停机保护。

(5) 加载或卸载中断保护

当装带或卸带、加载或卸载过程中有故障时，几秒钟后自动停机。在装带或卸带时停机是通过带仓上的微动开关不能到达预定位置而引起微机的停机动作。加载和卸载停机是由方式选择开关或收带盘停转检测引起的。加载不到位，则方式选择开关的位置不对，微处理器将进入自动保护停机状态。

(6) 收带盘停转保护

收带盘转速过慢或出现磁带松弛现象时应自动停机保护，这是一种保护性停机。

重放或快进状态下如果收带盘不转，将造成磁带的堆积，倒放或倒带状态下，收带盘如果不转，可能会拉断磁带或使电机过荷。所以在磁带运行状态下如果收带盘不转，录像机应停机。收带盘停转检测也有光电和电磁两种方法。

(7) 定时停机保护

如果机器被置于定时记录状态，只要定时开关一拨到 ON，机器自动处于停机状态，此程序是由面板上的定时开关启动的。这是为了防止破坏定时状态而设计的。

(8) 暂停保护

静像工作状态超过 5 分钟自动停机，这是一种保护性停机。

为保护磁带和减少磁头磨损，在记录或正常重放状态下按下暂停键，如果超过 5～8 分钟，微处理器将自动发出停机指令。这是微处理器在接受到暂停键按下信息时开始计时的，此程序在编程时已设计好并已固化在了微处理器中。

(9) 防误抹保护

装入去掉防抹保护片的磁带时，按记录键无效。如果按定时记录键，则机器将磁带自动弹出。这是防误抹微动开关起到

的保护作用。

(10) 电源中断保护

电源接通瞬间进入停机状态,这是一种功能性停机。

机器运行过程中如遇断电,再通电时,机器自动恢复到停机状态。这个动作是由方式选择开关所提供的信息而产生的停机指令引起的。刚接通电源时,微处理器若发现方式选择开关提供的信息不是停机状态,则自动使机器恢复到停机状态。

(11) 超时加载保护

根据程序规定,在一定的时间内微处理器收不到加载到位信息后,则执行卸载动作,并进入 STOP 状态。

各种故障的自动检测都是由传感器和系统控制微处理器来完成的,检测到故障后再把故障信息以串行方式传送到定时微处理器。并实施自动保护停机。保护停机的实施过程是,微处理器在接收到上述各种传感信号或计数到时信号后,便发出停机指令,此停机指令首先使录像机退带,然后去切断稳压电源的输出。

在实际检修中,要注意弄清什么是正常信息,什么是异常信息,然后根据产生正常信息的条件去寻找出现异常信息的原因。

三、多功能显示器工作原理

录像机中的多功能显示器可以显示时间、磁带用量数据及工作状态指示等。

1. 显示屏的结构

显示屏作为显示电路的终端,是一种电真空荧光器件,它的内部结构主要有阴极(K)、栅极(G)、阳极(A)和灯丝等,见图 13-43。

阳极(A)分成 9 段 <a,b,…i>。荧光屏分成许多个单元(例如 14 个单元),每个单元称作位。每一位都对应栅极。用

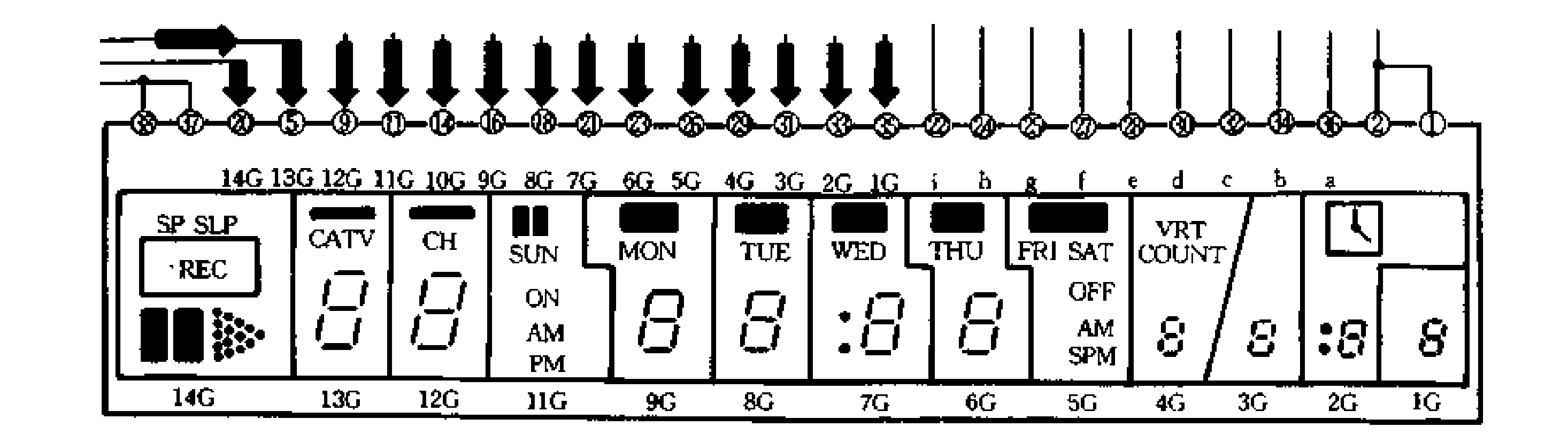


图 13－43　多功能显示屏

1G、2G…14G 标示。每一位里都有相同的 9 个段。

阴极(K)采用直热式,灯丝加热阴极后发射电子。

发光的条件:对于每一个单元,只有当阳极和栅极均为高电位时,电子束才能到达阳极而发光。

2. 显示驱动方式

荧光屏供电采用了时序脉冲循环驱动的方式。它的原理是,从 1G 开始到 14G 按时间先后顺序依次加入扫描正脉冲,使各个显示单元(位)开启,而各位中的段 a、b…i 分别并联,由译码驱动器根据显示内容控制它们的电平。当某位为高电平,而段也是高电平时,这个显示单元才能发光。

采用这种方式后,各个单元呈循环显示状态,但因重复频率非常高,故从视觉上并不会感到闪烁。

第五节　机械系统

控制机械系统运转的是伺服系统和控制系统。如果整个录像机算作一个大系统,那么机械系统则是一个子系统。机械系统、控制系统与伺服系统三大部分是录像机的三大子系统。

机械系统中的核心部件是方式选择开关或叫状态选择开关。方式选择开关,可以反映不同工作方式下的机械状态,把机械状态信息反馈给系统控制板的微处理器,CPU 根据反馈的机械状态信息,发出相应的操作程序命令去控制机械的运行状态。

微处理器—机械系统—方式选择开关三者构成一闭环系统。

其闭环工作过程如下:CPU 发出指令控制机械运动,机械运动状态由方式选择开关(或微动开关)把机械状态信息反馈给

CPU,CPU 又根据反馈的信息决定下一步操作程序是继续操作还是停机。

机械系统的驱动对象是视频磁头、磁带,磁带盒。张力系统用来控制磁带的张力。磁带的操作与机械动作的对应关系如下:

装带:带盒进入带仓。

卸带:带盒退出带仓。

穿带:磁带从带盒中拉出并包绕磁鼓的动作(加载)。

退带:磁带从鼓上退回到带盒内(卸载)。

1. 带仓机构

带仓机构的作用是装带和卸带。作用对象是磁带盒。

2. 穿带机构

穿带机构的作用是进行穿带和退带。作用对象是磁带。直接带动磁带的是磁鼓两侧的穿带导柱 P_2、P_3(包括直导柱和斜导柱),穿带导柱是由穿带臂(加载臂)带动的。

3. 带盘驱动机构

带盘驱动机构的作用是供带和收带,作用对象是磁带。值得指出的是:

① 在正常记录或重放方式时,磁带前进的动力不是由带盘提供的,而是主导轴和压带轮对磁带的磨擦使磁带前进。在这种方式下,收带盘(右侧)的作用是收带,供带盘的作用是使磁带有适度地向后拉力,使磁带在进行中有一定的张力。

② 在快进(FF)或倒带(REW)方式下,带盘的转动是磁带行进的动力。快进时,收带盘收带,供带盘提供适度地向后张力。张力过小磁带会变得松弛,卷带不均匀。倒带时,供带盘进行收带,收带盘提供向后的张力。

带盘转动的动力来自带盘电机或主导轴电机。

4. 方式选择开关

方式选择开关的作用是为 CPU 提供各种工作状态下的机械位置信息。方式选择开关把各种机械状态的信息转变成二进制信息码。

方式选择开关向 CPU 提供的信息包括：

(1) 是否处于停机(STOP)状态，一般把 STOP 状态下的机械状态叫作机械初始状态或叫作机械零点。机械零点是否正确是录像机能否正常工作的关键。

(2) 是否加载到位。加载(穿带)到位即表示录像机开始记录或重放。

(3) 是否处于弹出(EJECT)状态、快进/倒带(FF/REW)状态、暂停(PAUSE)状态、倒放(REV)状态。这四种状态与停止(STOP)及重放(PLAY)共六种状态，是机械位置的基本工作状态。共需用 3bit 二进制码来表示($2^3=8$)。

确定机械零点的前提是必须在停机(STOP)状态。

机械零点如果被破坏，常见的故障是录像机接通电源后，加载系统出现简谐振荡的现象或者装不进磁带，或者只能倒带不能进入重放状态。

5. 走带机构

走带机构的作用有两个：一是在重放或记录状态驱动机构运行；二是确保磁带在规定轨道内运行。

走带机构的动力源是主导电机，作用对象是磁带。在正常记录/重放状态，由主导轴与压带轮配合驱动磁带，在快进/倒带状态时，由主导轴电机带动带盘，再由带盘驱动磁带。

(1) 走带机构的路径

VHS 录像机的走带机构如图 13－44 所示。磁带从供带盘侧拉出，经张力杆调整磁带张力、经导带惰轮(简称导轮 P_1)对

磁带进行下定位，经全消磁头，经供带导柱 P_2 和供带斜导柱，对磁带进行上定位。经磁鼓，对磁鼓进行略大于 180°的包绕，磁鼓的导轨平台对磁带进行下定位。经卷带导柱 P_3 和卷带斜导柱，对磁带进行上定位。经音控磁头组件，经固定导柱 P_4 对磁带进行下定位。经主导轴和压带轮的摩擦驱动后，最后经拉出杆 P_5 进入磁带盒内，由收带盘卷带。

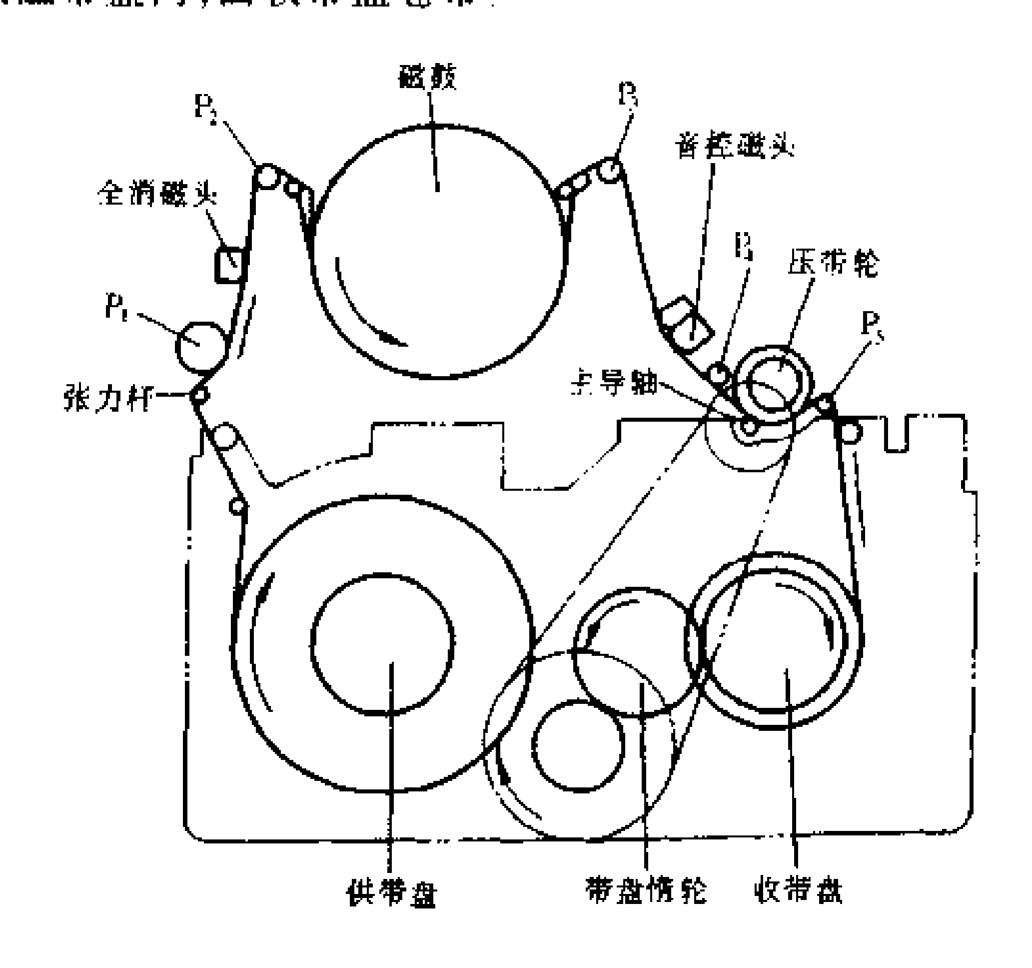


图 13-44 走带机构

各部件的定位作用及功能：

① 入口侧阻抗惰轮 P_1（下定位）。P_1 的高低位置对磁带直线性运转的影响极大，出厂时已调好，切不可随意乱动。

② 出口侧固定导柱 P_4（下定位）。P_4 与 P_1 一样维修时不能乱调整。

③ 入口侧直导柱 P_2、出口侧直导柱 P_3（上定位）。其中 P_3 是

走带和互换性调整的关键部件，若 P_3 失调将会造成磁带的抖动；引起 X 值的变化，因为此导柱影响到磁头扫描结束点到控制磁头间的距离，而且还会影响到磁带直线性的调整，这主要是由直导柱上下位置影响的。

④ 主导轴组件。主导轴组件是录像机中比较关键的部件之一。主导轴直径的磨损、变形、与压带轮轴线的平行度、以及径向跳动等因素都直接影响图像的质量。主导轴组件由主导轴、飞轮、支承座组成。主导轴下面的惯性飞轮质量较大，所以它转动时产生的惯性能量可以吸收电机和传送带转速的不均匀性和抖动。

主导轴是引起录像机时基误差的部件之一。因为磁带走带速度等于主导轴的线速度，主导轴本身的任何不规则偏差都会引起时基误差。

⑤ 压带轮。压带轮是磁带运行动力的传递部件，与主导轴配合为磁带提供动力。主导轴和磁带间的摩擦力很小，而主导轴与压带轮间的摩擦力较大。压带轮对主导轴的压力过大，会增大主导电机的负荷，过大的负荷不仅会使电机转速不均匀，还会加快轴承的磨损，压力长期过大，会使压带轮橡胶变形，使磁带抖动。压力过小也不好。如果压力太小，压带轮与主导轴间压得不紧，磁带运行中将会打滑，同样会增大抖晃。

(2) 走带通道的直线性原理

为确保记录和重放时，视频磁头的记录磁迹和重放时扫描磁迹的精度，对磁带运行过程进行限位，是非常必要的。磁带的上下抖动影响磁头对磁带的扫描相位，磁带的倾斜程度影响磁头扫描磁迹角。

走带通道的直线性定位原理如图 16－45 所示。为防止磁带运行中的上下抖动，整个走带机构对磁带进行上下定位。为

防止磁带的倾斜，要求整个走带通道满足等高、平行、无皱折。等高即要求供带盘和收带盘等高，在此基础上保证 P_1 和 P_4 的下定位点与底盘保证等高。平行是指磁带与磁鼓上的磁带导轨平台平行。磁带运行过程中，下边缘从入口到出口的全程中都沿着导轨平台运行。无皱折，主要应保证磁带通道的直线性，即如果把通道展开应象图 13－45 所示那样是个平直的通道，如果各定位点对磁带的限位不正确，就将造成磁带上下扭曲，其结果将造成信号失落，对磁头的寿命也有影响。

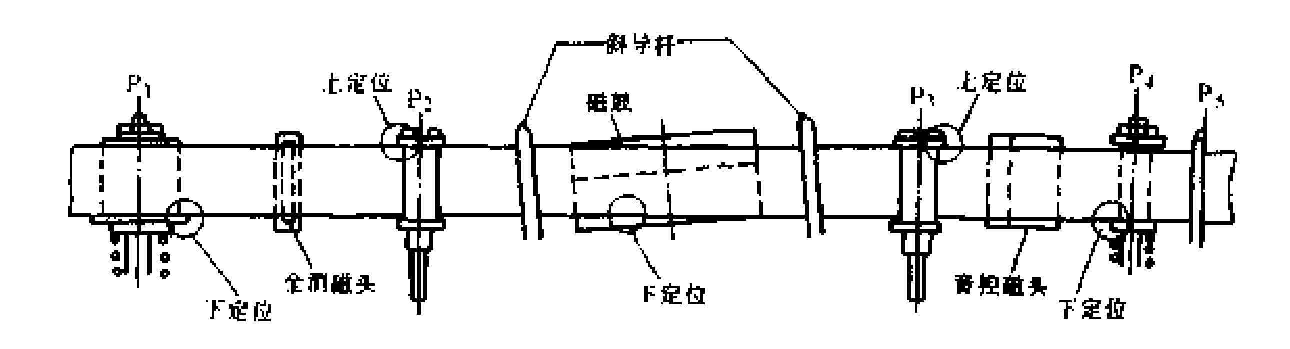


图 13－45　走带通道的直线性定位方法

整个走带通道共有五个定位点，它们分别为导带惰轮（P_1）、入口侧直导柱（P_2）、磁鼓的导轨平台、出口侧直导柱（P_3）和出口侧的固定导柱 P_4。这五个定位点对磁带的定位顺序分别是：下—上—下—上—下。定位的核心是确保磁带自入口到出口始终沿导轨平台运行，既不出现空隙又不越过平台。

① 设定 P_1 和 P_2 是为了使磁带在通过全消磁头过程中走带平稳。

② 设定 P_2 和 P_3 是为了保证磁带在通过磁鼓其间走带平稳。

③ 同理 P_3 和 P_4 是保证磁带在通过音控磁头其间平稳。

对导柱的上下位置调整是为了使磁带沿直线路径运行，所以通常把上下方向的导柱调整称为“线性调整”。对导柱前后左

右方向的调整叫做倾斜调整。

6. 张力机构

在录像机的"头带传输系统"中，要求磁带对视频磁头的正压力要保持恒定。这个正压力是由机械张力机构产生的。录像机的张力伺服是一套自动调节磁带张力的机械机构。录像机为什么要引入张力伺服呢？因为信号记录在磁带上，磁带在不同张力作用下伸长的程度也不同，如果磁带的张力变化不能维持在一定范围内，磁带对磁头的作用力就不能保持恒定，那么磁带长度就不能维持在一定的精确度上。磁带张力的大小主要影响到视频迹角的变化。

由于张力不稳定而产生的现象主要是画面噪波，噪波带的位置是随机的，有时在上部、有时在下部，严重时造成图像场同步不良。这种现象可用下述方法鉴别：自录自放时图像正常，而重放其它节目带时出现噪波带或垂直同步不良。这是因为自录自放时磁带的张力变化是固定的，但张力太小或太大时，自录自放也会出现不正常现象。由此可见，张力的变化也会造成互换性不良的故障。

张力伺服由张力带、张力臂、张力杆、张力簧、张力调整和张力杆位置调整座组成。张力伺服主要是依据磁带自身的张力大小来调整磁带自身张力的变化。正常重放和记录状态下，磁带从供带盘拉出，绕经张力杆、张力簧通过张力臂给张力带一个拉力，这个拉力给供带盘一个制动力。磁带的张力主要靠对供带盘制动力的大小来调整，增大制动力，即张力带对供带盘包得越紧，磁带的张力越大；相反，张力带对供带盘的制动力放松，磁带的张力就减小。

7. 刹车机构

刹车机构的作用是使磁带由正常运转状态转入停止状态。

控制对象是带盘。刹车机构的动力是制动闸的弹簧。

8. 螺线管

螺线管是一种电磁铁吸合部件。当给螺线管通以正向电流时，螺线管处于吸合状态，当给螺线管通以反向电流时，螺线管释放。在录像机中利用螺线管的吸合与释放，并通过螺线管的磁铁带动机械传动部件运转，同时实现各种状态功能之间的转换。

第六节　彩色摄像机的工作原理

一、概述

彩色电视摄像机，是将彩色活动场景变成彩色电视信号的光——电转换设备，它是电视系统中主要的信号源之一。

目前摄像机已广泛用于人们生活的各个领域，给人们带来了极大的方便和无穷的乐趣。目前各厂家生产的摄像机，型号规格繁多，可以有多种不同的分类方法，一般都是根据实际需要，突出摄像机的某些特点，将其划分成不同的类别。例如，按所输出的电视信号，可分为彩色或黑白摄像机；按所适用的领域，可分为广播用、业务用及家庭用摄像机；按所用的摄像器件，可分为摄像管摄像机和固体摄像机；按使用摄像器件的个数，又可分为单管或三管彩色摄像机，以及单片或三片彩色摄像机等等。

摄像机主要由光学系统、摄像器件、信号处理系统、录像器、电源等几部分所组成。图 13－46 是索尼公司生产的 BVP－350P 型广播级三管彩色摄像机的外形，该机属于野外采访、演播室拍摄兼用自动化摄像机。图 13－47 是广播用三管式彩色

摄像机的组成方框图。

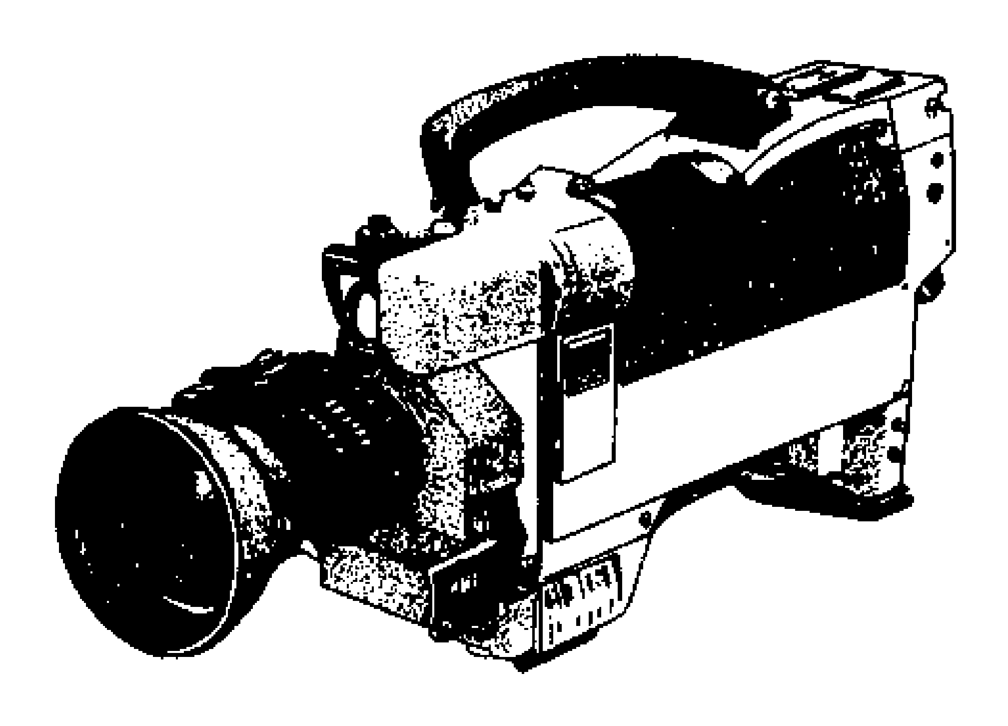


图 13-46 BVP-350P 彩色摄像机

二、光学系统

彩色摄像机的光学系统，由变焦距镜头、分色棱镜、中性滤色片和色温滤色片所组成。光学系统的作用，是将被拍摄的景物成像，并把一幅彩色光像分成 R、G、B 三幅单色像，分别投射到三个摄像管的靶面上（见图 13-47）。成像与分光的任务分别由镜头和棱镜完成。

1. 变焦距镜头

电视摄像机的镜头与照相机的镜头一样，也是由不同的透镜组成的。

早期的电视摄像机采用固定焦距的镜头，将长、中、短三个焦距不同的镜头装在同一个镜头盘上，在摄像时，将所需要的镜头旋转到工作位置上。固定焦距的镜头制作工艺简单，成本低廉，但使用起来很不方便，只能拍摄三种固定大小的场面。在变

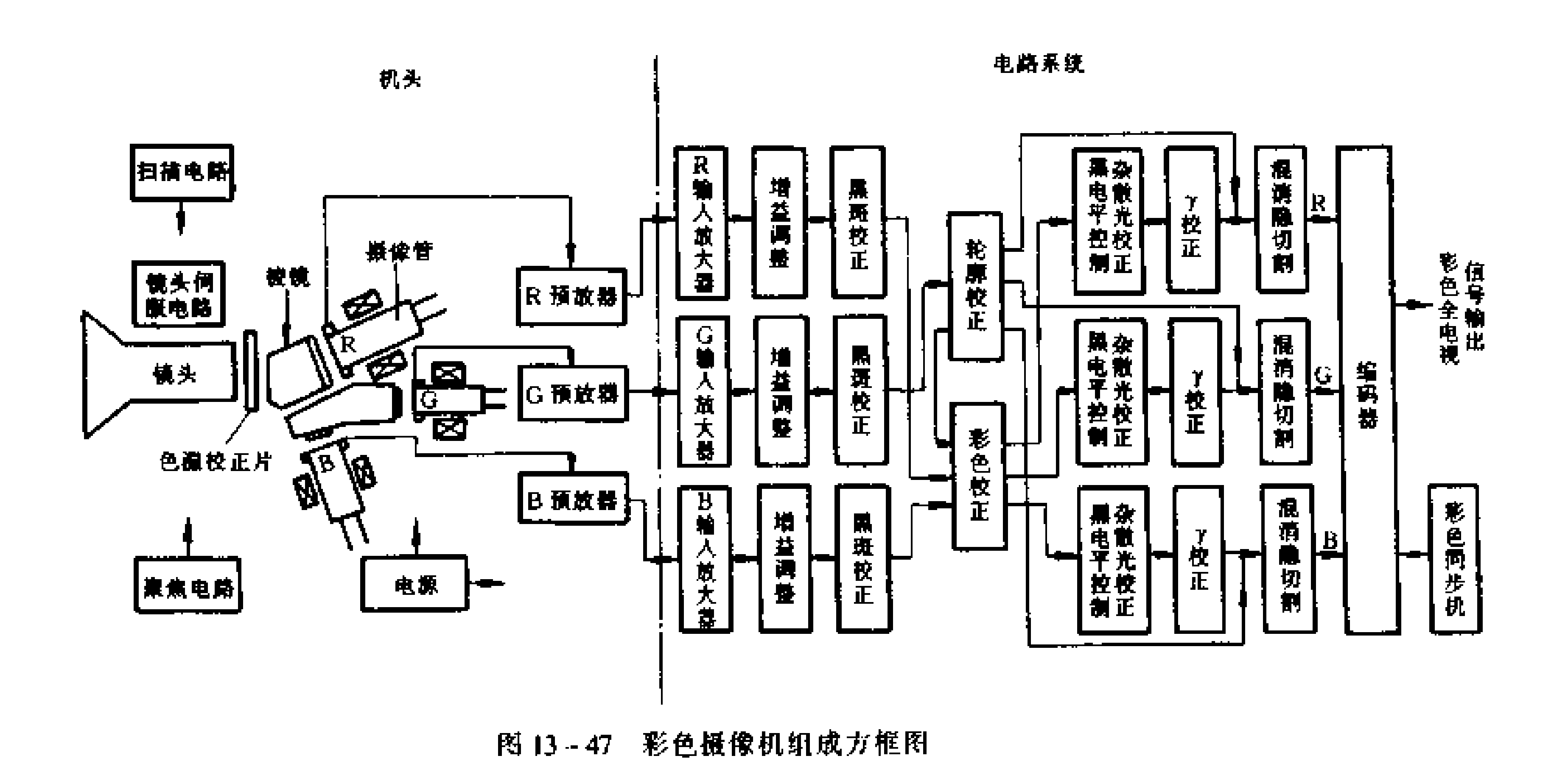


图 13-47　彩色摄像机组成方框图

换镜头时，所摄取的场景产生突变，从而影响了拍摄的艺术效果。

目前摄像机广泛采用的是变焦距镜头，这种镜头的焦距，通过调整机构可以方便地连续改变，从而达到改变视场角的目的，以获得不同景物范围的光学图像。

变焦距镜头有如下三个特征参量：

最短——最长焦距：这个参量表征了镜头焦距的可调范围，它与视场角参量直接相关。

视场角：是指镜头对景物边缘的最大张角，记作 2ω，它与镜头的成像尺寸 H、焦距 f 有如下关系

$$\omega = \operatorname{arctg}\frac{H}{2f}$$

若上式中的 H 表示成像面的高度或宽度，则算出的 ω 值对应于镜头在垂直方向或水平方向的视场角。它说明，在成像面不变的条件下，所摄景物的视场角将随镜头的焦距 f 而变化。焦距变大，视场角将变小，从而使所摄景物变大；反之，焦距减小，视场角将变大，所摄景物变小。例如，拍摄特写镜头时，应当使用长焦距，而拍摄远景或全景时，则应使用中、短焦距。

相对孔径：与固定焦距镜头一样，相对孔径等于镜头有效直径与焦距之比（D/f）。为了避免给出的数据全部在小数范围，通常相对孔径以 f/D 值给出。

2. 分色棱镜

分色棱镜也叫作分光棱镜，它的作用是把经变焦距镜头射出来的彩色光束分解成红、绿、蓝三个基色光束，分别投射到三个摄像管的靶面上，以便通过摄像管产生红、绿、蓝三路电信号。图 13－48 所示，是彩色电视摄像机中分色棱镜的示意图。

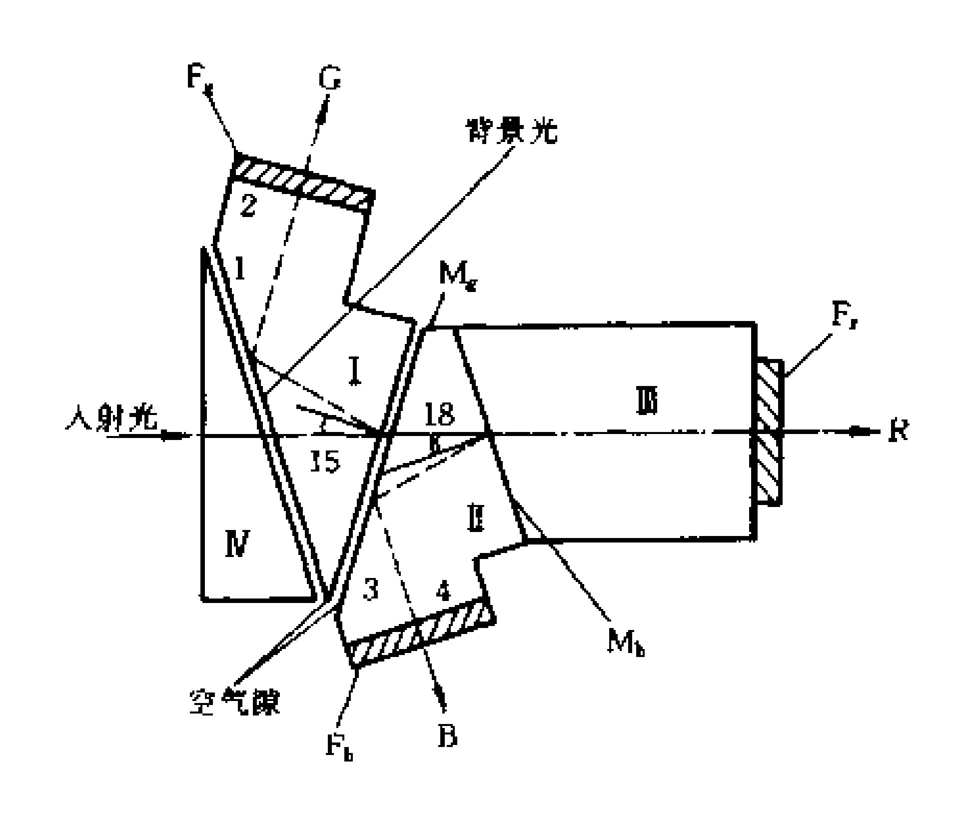


图 13-48　分色棱镜示意图

在玻璃三角棱镜的一个表面上镀有多层 M_g、M_b 薄膜(称为干涉薄膜),利用光波的干涉原理,使某些光谱的光从薄膜表面反射出来,而其它光谱的光则可以透过薄膜。

在图中,干涉膜 M_g 只反射入射光中的绿色光。由于棱镜 I 的界面 1 与棱镜 IV 之间存在空气隙,棱镜的折射率比空气中的大,因此当被 M_g 反射的绿光以很大入射角投射到面 1 时将产生全反射,经面 2 射出,经绿色滤色层 F_g 并在绿摄像管靶面上成像;入射光中的蓝色光被干涉膜 M_b 反射,到达面 3 时,也会产生全反射,经蓝色滤色层 F_b 在蓝摄像管靶面上成像;入射光的红色光,按光轴方向(不经任何反射),通过红色滤色层 F_r 后在红摄像管靶面上成像。

棱镜Ⅲ的作用是补偿红色光的光程差,使三基色能同时在各自摄像管的靶面上成像,彼此之间无时间延迟。滤色层 F_g、F_b、F_r 的作用是进一步修正绿、蓝、红光的光谱特性。

3. 中性滤光片和色温滤光片

(1) 中性滤光片。中性滤光片又称中性滤色片或光衰减器，通常要求对 400nm ~ 700nm 波长范围内的可见光具有平坦的衰减特性，所以称为中性滤光片。

在某些场合，例如摄像机在强光下工作，一般应适当减小光圈，但为了达到特定的艺术效果又不允许减小光圈，这时就可用中性滤光片对入射光通量进行衰减。常用中性滤光片的透光率有 100%、25%、10%、1.5%等几种。

(2) 色温滤光片。通常光源都是温度的辐射体，为了比较不同温度的光辐射程度，一般选用仅与温度有关的全辐射体(绝对黑体*)作为基准。当全辐射体发射出与某一光源相同特性的光时，它所必须保持的温度，称为该光源的色温。色温的单位用绝对温度 K 表示。因为实际的光源并不是理想的绝对黑体，所以某光源的色温并不等于它本身的实际温度。通常光温的色温均高于它的实际温度，例如白炽灯钨丝所发出的白光，其色温为 2854°K(即相当于绝对黑体保持在 2854°K 温度下，所发出的光)。而此时钨丝的实际温度为 2800°K。

白炽灯发出的白光看起来不如阳光白，而是带有橙红色，这是因为这两种白光的色温不同，即它们波谱能量的分布区域不同。太阳在白天的平均照明光，其色温是 6500°K，它被用作彩色电视中标准白光的色温。

在实际工作中，彩色摄像机在不同的照明光源下拍摄同一景物，电视机荧光屏上显示出的颜色是不相同的，即产生了彩色失真，这是不能允许的。为此，对摄像机的照明光源和电视机三

---

* 绝对黑体是指既不反射也不透过而能完全吸收入射光的理想物体。它对所有波长光的吸收系数均为 1。当该黑体加热时，它将辐射出连续光谱，而其光谱能量的分布只与温度有关。

基色荧光粉所合成的白色光都规定了标准的色温。摄像机是按色温为3200°K的照明光源设计的，而彩色荧光屏发生白光的标准色温是6500°K，因此在摄像机的光学镜头中，加有把3200°K转换到6500°K的色温转换。若摄像机照明光源的色温偏离了3200°K，就必须在镜头与分色棱镜之间加入色温滤色片（1片或几片），来补偿照明光源的光谱特性，使其色温恢复到3200°K。这样，摄像机所输出的红、绿、蓝三基色电信号，才能满足荧光白光色温6500°K的要求。

综上所述，色温滤色片的作用，就是为了将不同照明光源的色温，转换为摄像机所要求的色温（3200°K），以保证电视机荧光屏重现出的图像彩色逼真。

彩色电视演播室通常所用的光源是卤钨灯，其色温为3200°K且比较稳定。

三、摄像器件

摄像器件是一种光电转换器件，一般可分为真空管式摄像管和固体摄像器件两大类。真空管式摄像管又可分为光电导型摄像管和移像式摄像管两种。

光电导型摄像管的靶面，是由电导率随光照增加而增加的光敏半导体材料制成的，靶面选用不同的光敏材料，就可制成各种不同的光电导型摄像管。例如：硫化锑型摄像管（Vidicon）、氧化铅型摄像管（Plumbicon）、硒化镉型摄像管（Chalnicon）、硒砷碲型摄像管（Saticon）、碲化锌镉型摄像管（Newvicon）和特里尼摄像管（Trinicon）等几种。目前国内使用最多的是氧化铅摄像管和硒砷碲摄像管两种。低输出电容（LOC）二极管枪氧化铅摄像管是目前性能最好的摄像管。

移像式摄像管有二次电子导电管和硅靶像增强管两种。其

光电转换效率高，可在低照度(0.5lx(勒克司))下进行拍摄，但结构较为复杂，这种摄像管多用于军工方面。

固体摄像器件是一种新型的光电转换器件。它没有光电导摄像管那样的真空玻壳，也无电子枪和偏转系统等结构。它是靠脉冲电压作用，应用电荷耦合效应，在器件内部实现扫描拾取图像信号，因此是一种自扫描式的新型摄像器件。固体摄像器件的优点是：小型、轻便、寿命长、耐振动、耐冲击、低功耗、无烧斑、无图形失真，可在强磁场中工作。目前固体摄像器件有MOS型、CCD型、CPD型三种。

下面仅就氧化铅摄像管和固体摄像器件，作一简要介绍。

1. 氧化铅摄像管

氧化铅摄像管又称为氧化铅视像管或氧化铅光电导管。它的构造如图13－49所示，主要包括电子枪和光电靶两大部分。

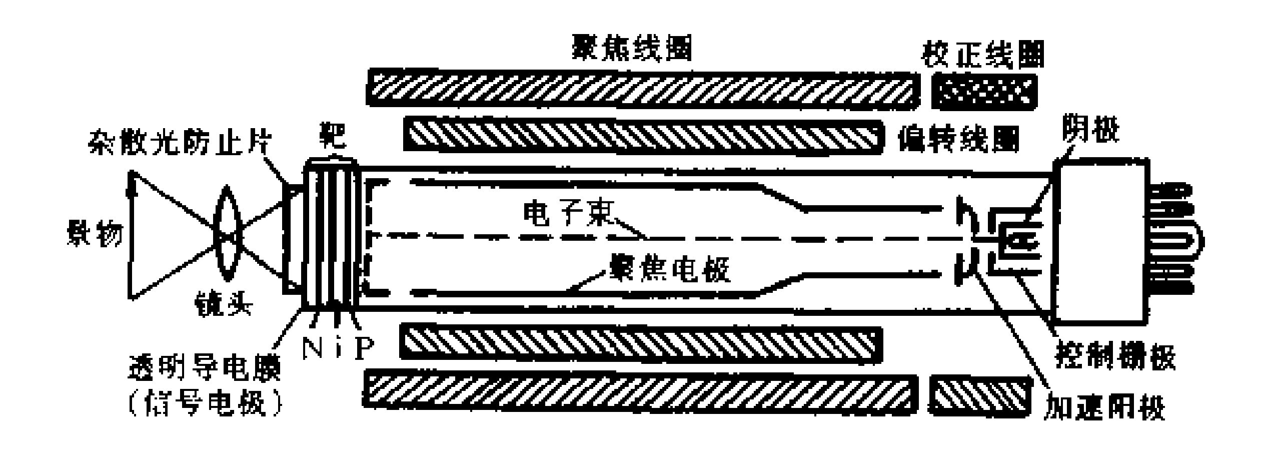


图13－49 氧化铅摄像管的构造

电子枪：包括灯丝、阴极、控制栅极、加速阳极、聚焦电极和网电极。它们各自的作用是：灯丝用来加热阴极；圆筒形阴极的顶部涂有低逸出功的金属氧化物，阴极由灯丝加热而发射出大量电子；顶端开有小孔的筒形控制栅极套在阴极外面，调整栅、阴极之间的电压，可以控制从栅极小孔中飞出电子的多少，即调

整扫描电子束的强弱；加速阳极使从栅极小孔中飞出的电子加速射向靶面；调整聚焦电极的电压，可以改变聚焦电场的分布，使电子束的焦点刚好落在靶面上；在靠近光电靶的地方，还有一个由金属丝网构成的网电极，网电极上加有较高电压，使网、靶之间形成一个均匀的减速电场，使电子几乎以零速垂直地落在靶面上，以避免从靶面上激发出二次电子。

光电靶：氧化铅光电靶的结构如图13－50所示。受光照射的一侧是N型半导体，称N层。受电子束扫描的一侧是P型半导体，称P层。在N、P两层之间是电阻率很高的氧化铅本征半导体，称I层。紧贴N层左侧是透明的二氧化锡导电膜，称为透明电极或信号电极。信号电极经负载电阻 R_L 接至45V靶压的正极。N层与P层均极薄，I层较厚（约10μm～20μm），光电转换主要在I层进行。由于N层和P层的电阻率比I层低得多，故当电子束扫描时，靶压几乎全部加在I层两侧，在I层内部形成很高的电场强度（约为 10^6V/m～10^7V/m）。

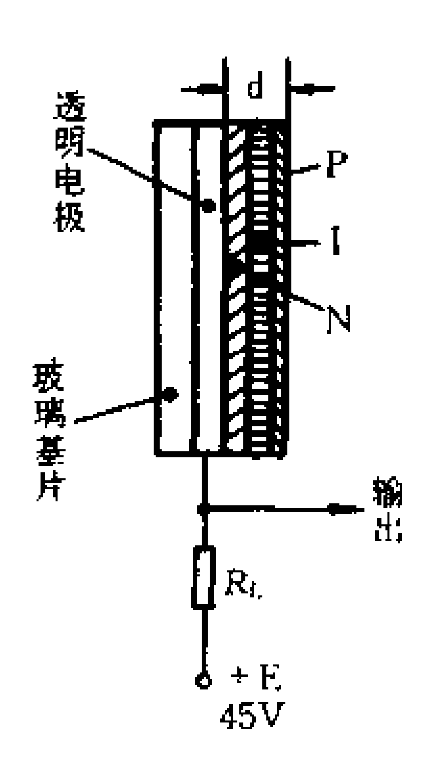


图13－50 氧化铅管靶面结构

当光线穿过透明电极和N层入射到I层后，就会在I层激发出电子空穴对，电子空穴对的多少取决于光照强度的大小。I层被光激发的电子空穴对作为载流子可参与导电。因此I层的导电率随光照的强弱而变化，光线越强，导电率越大，电阻越小。

图13－51是氧化铅管的等效电路，整个靶面由数以十万计的像素组成，图中将每个像素等效为一个电阻Re和电容Ce相

并联的微小单元。当一幅图像的光，例如经分色棱镜分色后的某一路基色光，投射到靶面上，图像亮处 Re 小，图像暗处 Re 大。

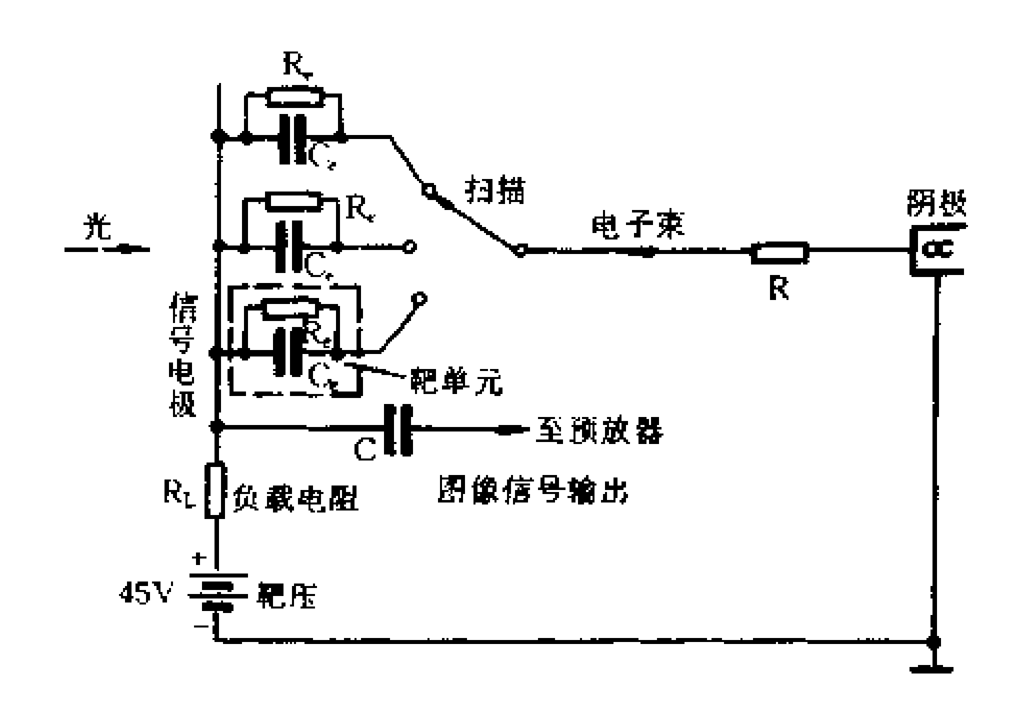


图 13－51　氧化铅管的等效电路

当电子束按电视行、场扫描规律对 Ce 进行扫描时，Ce 右端经电子束逐个接至阴极电位（0V），于是靶压（＋45V）经负载电阻 R_L 对 Ce 充电，与 Ce 并联的 Re 阻值较大，其分流作用可以忽略。由于充电回路的电阻很小，故充电过程极短。扫描电子束离开 Ce 后，Ce 即开始通过 Re 放电，光照强处 Re 小放电多，光照弱处 Re 大放电少。当电子束再次扫描时（对应同一个 Ce，两次扫描间隔一帧时间），＋45V 靶压再次经 R_L 给 Ce 充电，放电多的 Ce 充电多，放电少的 Ce 充电少。充电电流在 R_L 上的电压降经隔直流耦合电容输出，送至摄像机的预放器进行放大。这样就把各像素上不同照度的光信号，转换成了随时间变化的图像电信号。

若将分色棱镜分解的三个基色光，分别投射到三只氧化铅管的靶面上，三个管子的电子束以同步状态扫描各自的靶面，在

三个负载电阻上即可得到三基色的电信号。

氧化铅管工作时典型靶压为 +45V，它对 PIN 二极管施以反向电压，因此，氧化铅的暗电流* 非常小，约为 0.2nA ~ 0.3nA。

2. 固体摄像器件

目前主要有 MOS 型、CCD 型、CPD 型三种固体摄像器件，本节仅对 CCD 型固体摄像器件加以介绍。

CCD(Charge Coupled Device)是电荷耦合器件的简称，它是自 1970 年以来发展起来的一种新型 MOS 器件，到 80 年代末期发展尤为迅速，制作技术日臻成熟，各项技术指标大幅度提高，现在生产厂家用 CCD 器件，已制作出了多种规格的摄像机。

CCD 是用电荷量来表示信息的，而不是用电流或电压，这一点和一般的集成电路是不同的。CCD 基本上是一个动态移位寄存器。

(1) 结构。图 13-52 是 CCD 结构示意图。它是在 P 型硅(或 N 型硅)衬底上，先生长一层 SiO_2 绝缘薄层，再在 SiO_2 薄层上沉积一系列间隙很小的金属电极制成的。每个金属电极和它下面的绝缘层及半导体硅衬底形成一个电容，所以 CCD 基本上是由一系列 MOS 电容所组成的。

(2) 光电转换与电荷存储。如图 13-53 所示，在 P 型硅衬底制成的 CCD 电极上施加正电压，会使 SiO_2 绝缘层下面硅表层中的多数载流子空穴受排斥而移走，形成一个耗尽层。这个耗尽层可以储存 P 型衬底中的少数载流子——电子，因此将这个耗尽层称为势阱。电极施加的电压越大，得到的势阱越深。当硅晶体受到景物光像投射而激发出电子-空穴对后，被激发的少数载流子在电场的作用下被吸引到正对它的势阱中去。为了

---

* 暗电流——光敏器件没有光照射时流过的电流。暗电流越小，信噪比越高。

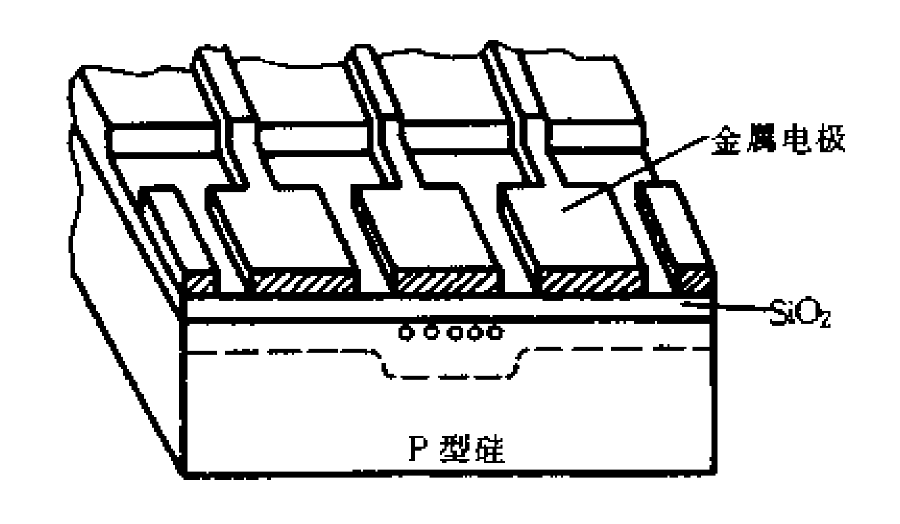


图 13-52 CCD 结构示意图

避免少数载流子(也称为光电子)在进入各自对应的势阱之前，有可能扩散到邻近的势阱之中，导致器件的分解力下降，需要使硅衬底薄到与一个分辨单元的尺寸相比拟的程度。当衬底厚度作到 10μm 时，可以使器件在 300nm～700nm 的波长范围内保持满意的光谱特性和分解力。另外，由光激发的电子必须大大超过由热激发产生的电子，这是 CCD 器件正常工作的前提。

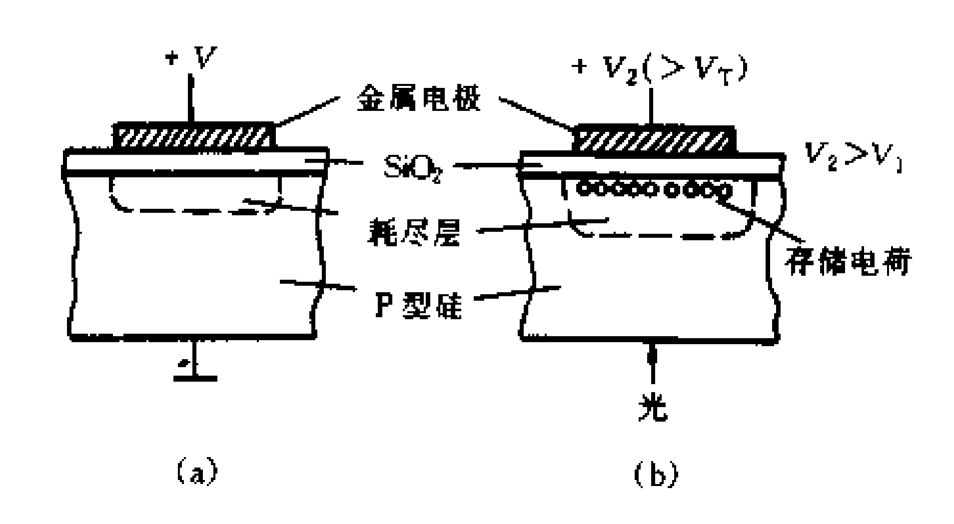


图 13-53 CCD 光电转换与电荷存储

势阱中储存电荷数目的多少，与该处投射光的强弱成正比。这样，景物的光像就变成了储存在 CCD 器件中的电荷所描绘的电子图像，从而完成了光电转换与信息储存的过程。

(3) 电荷转移(信号的读出)。储存在势阱中的信号电荷，通过电极上施加电压的变化，可以把它从一个电极下边转移到另一个电极的下边。图 13－54 是三相时钟脉冲驱动方式的电荷移动过程示意图。三相时钟脉冲分别是 ϕ_1、ϕ_2 和 ϕ_3，设它们的高电平为 V_1，低电平为 V_3($V_3 > 0V$，即在低电平时已生成耗尽层)，V_2 是过渡电平($V_1 > V_2 > V_3$)。由于电极间的间隙很小，这些耗尽层是互相连通的。耗尽层的深浅取决于相应电极所加电压的高低。图中画了 6 个电极，电极 1、4 接 ϕ_1，电极 2、5 接 ϕ_2，电极 3、6 接 ϕ_3。三相时钟脉冲的波形，如图 13－54(d)所示，它们之间的相位差为 $T/3$。T 是时钟脉冲的周期。下面我们看电极 2 所对应势阱 2 中电荷转移的过程。

在 t_1 时刻，ϕ_2 是高电位，ϕ_1、ϕ_3 是低电位，此时势阱 2 中的电荷不会移动(见图 13－54(a))。

在 t_2 时刻，ϕ_3 是高电位，ϕ_2 是中电位，ϕ_1 是低电位，此时势阱 2 中的电荷将向势阱 3 中转移(见图 13－54(b))。

在 t_3 时刻，ϕ_3 是高电位，ϕ_1、ϕ_2 是低电位，这时电荷已从势阱 2 中全部移到势阱 3 中(见图 13－54(c))。

从 t_1 到 t_3 正好是 1/3 个时钟周期，经过一个周期 T 后，电荷将向右移动三个电极位置。从 t_1 至 t_3，ϕ_1 始终是低电位，目的是阻止电荷向左移动。

当电荷从器件始端依次移至末端时，可通过反向偏置的 P-N 结来收集，并经放大后输出，从而读出了图像的电信号。

(4) CCD 摄像管。CCD 摄像管有两种基本类型，即帧转移型(FT)和隔列转移型(ILT)。下面仅介绍 FT 型。

帧转移型面阵 CCD 摄像管(FT)(Frame Transfer)的原理结构如图 13－55 所示。器件可分为成像区、存储区和读出寄存器三个基本部分。经摄像镜头形成的光像投射在成像区的表面上，

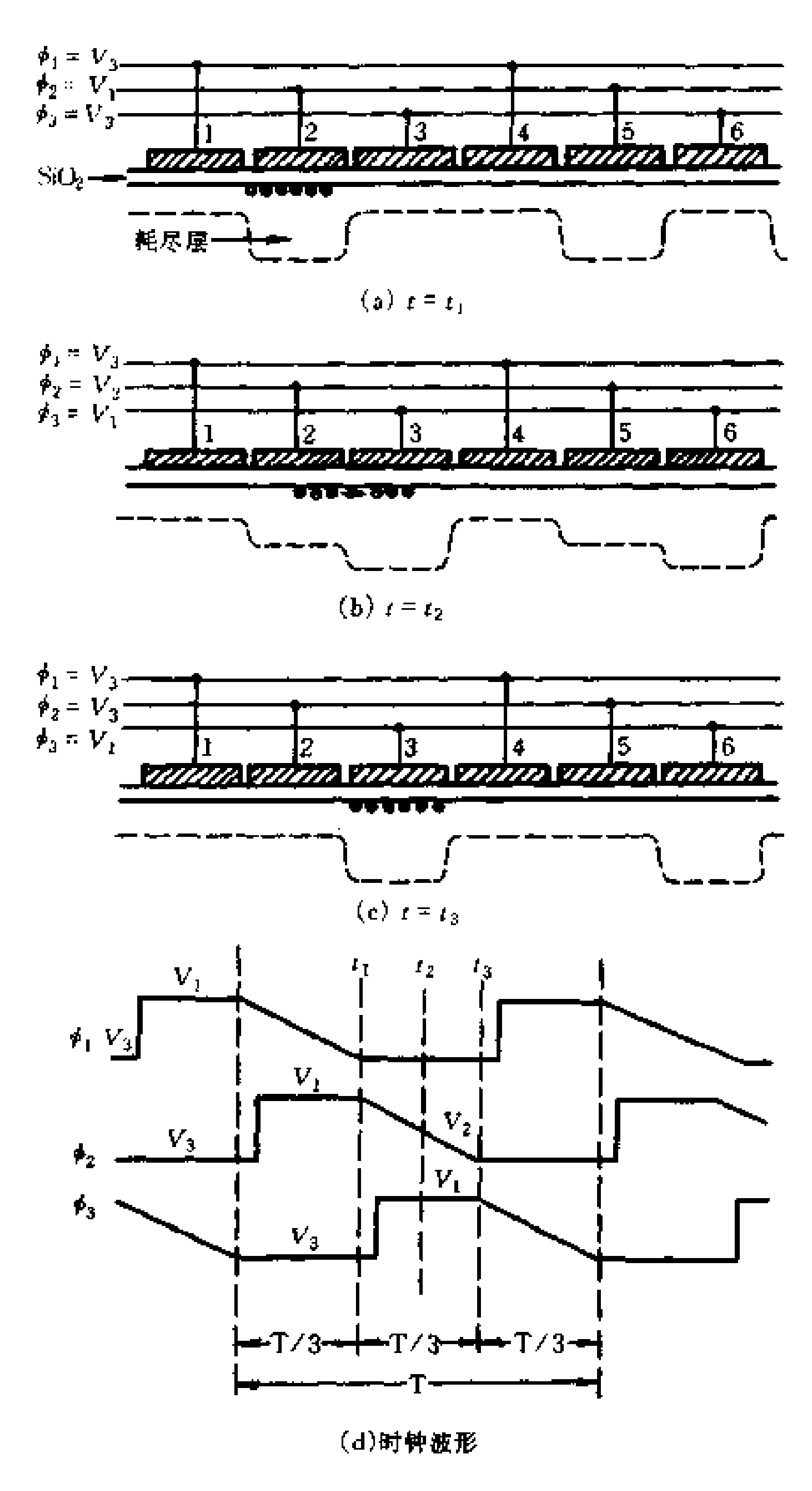


图 13－54 三相 CCD 电荷转移示意图

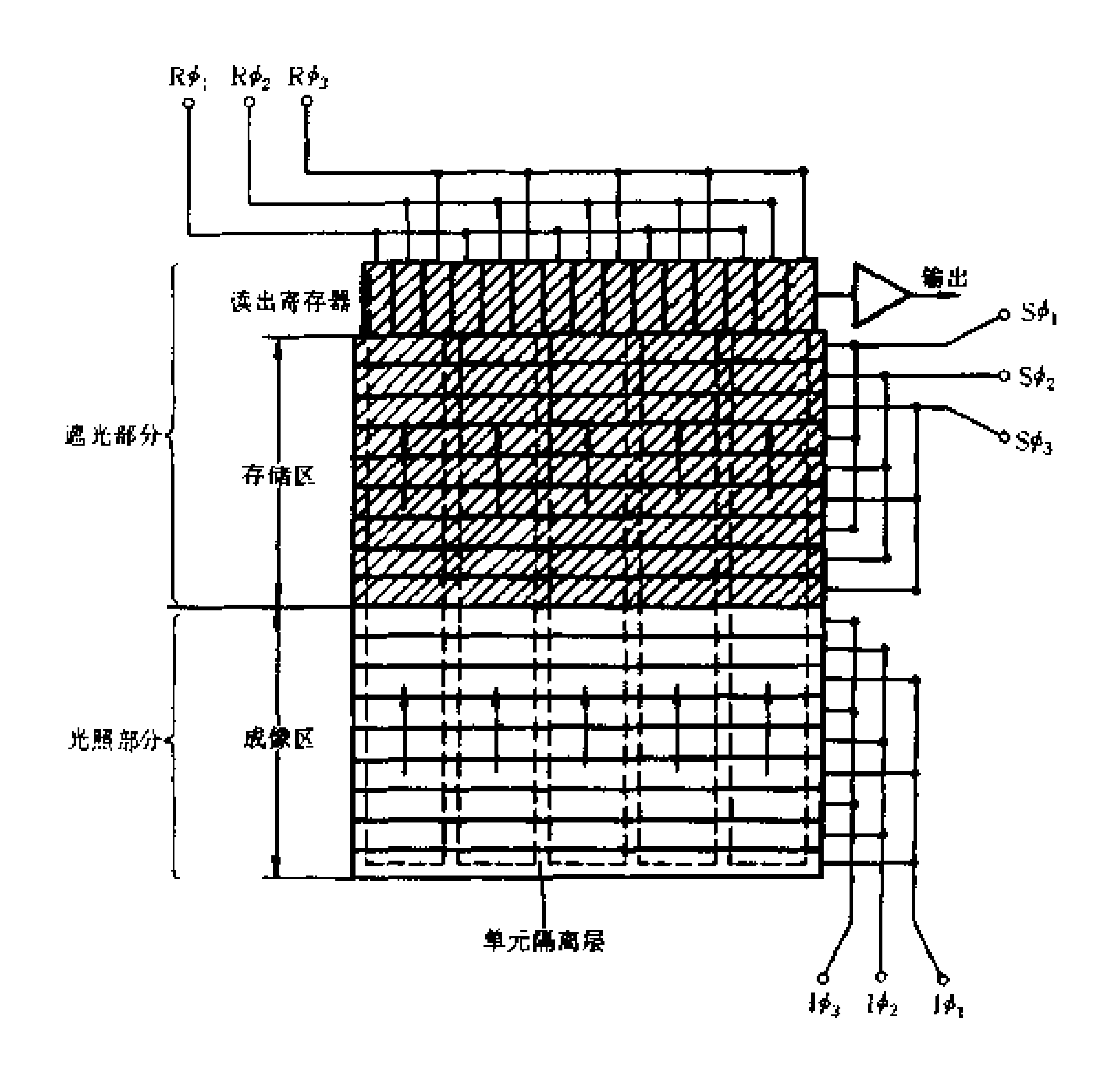


图 13－55 帧转移型面阵 CCD 摄像管的原理结构

光量子在 P 型半导体层激发出光电子* 和空穴，光电子被收集到相应电极下面的势阱之内。光像在不同像点上的光强不同，转换成相应势阱中的光电子数目也不同，于是完成了将光像转换为由不同电荷数量组成的电荷图像。光电荷的积累周期，由三相电压 $I_{\phi1}$、$I_{\phi2}$、$I_{\phi3}$控制。当积累周期结束时，由时钟脉冲 $I_{\phi1}$、$I_{\phi2}$和 $I_{\phi3}$和 $S_{\phi1}$、$S_{\phi2}$、$S_{\phi3}$控制，将代表一帧画面的电荷全部转移到

* 在这里，光电子表示携带着光信息的电子，为与 P 型衬底内固有的少数载流子相区别，故冠以"光"字。

存储区中相应的存储单元内。完成帧转移之后，在存储时钟脉冲 $S_{\phi1}$、$S_{\phi2}$、$S_{\phi3}$和读出时钟脉冲 $R_{\phi1}$、$R_{\phi2}$、$R_{\phi3}$的配合作用下，以平移方式逐行移入读出寄存器。然后，在读出寄存器中沿水平方向移动，最后经输出级取出。当一行信号全部取出之后，下一行从存储区向上平移进入读出寄存器，重复上述读出过程。在读取前一帧图像信号的同时，在成像区正在进行着下一帧图像电荷的积累。当上一帧信号全部读取完毕，即开始下一帧信号的帧转移过程。

四、三管彩色摄像机图像信号的处理与补偿

1. 预放器

由摄像管（氧化铅管或硒靶管）输出的信号电流非常微弱，约为 0.2μA～0.3μA。这样微弱的信号必须先经装在摄像机机头内的预放器进行放大，将信号放大至在 75Ω 负载上为 0.75V（白峰值），即流过负载的电流为 10mA，才能经电缆输出送至装在摄像机控制台机架上的视频处理放大器，对图像信号进行补偿和处理。

对预放器的技术要求主要有如下三个：

(1) 高增益：电流增益约 90dB。

(2) 宽频带：上限频率不低于 7MHz～8MHz。对于 50Hz 方波信号，其平顶下垂应小于 2%，以免产生明显的低频失真。

(3) 低噪声：信噪比大于 60dB。

一个放大器，要兼顾高增益、宽频带、低噪声这样三项指标，制作起来是有相当难度的。

2. 钳位电路

因为视频信号是单极性信号，经交流放大器放大后，会使直流分量丢失，从而造成图像亮度畸变。钳位电路的作用是恢复

丢失的直流分量，并消除叠加在视频信号上的低频干扰。

3. 黑斑校正

黑斑校正电路是用来补偿由分光系统的色渐变和摄像管光电导层灵敏度不均匀造成的图像上出现阴影和色斑（即黑斑效应），同时还用来补偿由摄像管的暗电流和偏置光引起的黑电平不均匀。

4. 轮廓校正

由于扫描电子束的孔阑效应*，使摄像管输出图像信号的高频部分衰减，造成黑白过渡处的信号变化缓慢，导致重现图像细节部分变得模糊。轮廓校正电路是把图像信号的高频部分提升，使图像的对比度加强，从而提高重现图像的清晰度。

5. γ校正

从摄像管的光——电转换至接收机显像管的电——光转换之间，存在着非线性关系，这将导致重现的图像产生亮度失真和色度失真。因此，必须对摄像机输出的图像信号进行相反的非线性预校正，以抵消显像管电——光转换的非线性，重现的彩色图像逼真。这一预校正称为γ(Gamma)校正。

6. 彩色校正

为了使彩色摄像机获得与显像三基色混色曲线一致的，具有负区的光谱响应曲线，需将三路基色信号以适当的极性和比例进行组合处理，这种为正确重现彩色所进行的信号处理，称为彩色校正。另外，为了加强艺术效果，有时需要人为地改变某种颜色的饱和度或色调。这种彩色处理方式称为可变彩色校正。

---

* 摄像管电子束在靶上焦点的直径约10μm～50μm，而像素的直径约几个μm，当电子束扫描时，它将同时拾取几个像素的信号，这种现象叫作孔阑效应。孔阑效应还应包括靶上光激发电荷的横向扩散。

7. 电缆校正

由摄像机头输出的红、绿、蓝信号，经电缆送到摄像机的处理单元，进行上述的信号处理和校正。由于电缆本身的分布电感和分布电容，将使信号高频部分的幅度下降，电缆越长，高频下降越严重，因此要进行必要的校正，使信号传输前后的幅频特性一致。

8. 编码器

经过上述处理校正之后的三基色图像信号，送至编码器，通过色度矩阵编码，将三基色信号(R、G、B)转换成一个亮度信号(Y)和两个色差信号(R-Y)、(B-Y)。然后按规定的彩色制式进行编码，并加入色同步信号，然后把带有色同步信号的色差信号和带有复合同步脉冲信号的亮度信号，通过混合电路线性相加，最后就得到了彩色全电视信号。

上面以三管式摄像机为例，说明了摄像机的组成和电路。若将三只摄像管换成三块固体摄像器件，再配以相应电路，就构成了三板式固体彩色摄像机。

五、三板式固体彩色摄像机简介

1. 整机的组成

以索尼 BVP-50 为例，它由摄像头、适配器、控制单元、遥控板等组成。

2. 固体摄像机的电路

固体摄像机的电路包括驱动电路、信号处理电路、噪声抑制电路、延迟电路、垂直拖尾抑制电路、编码器电路及电子录像器电路等。其中的驱动电路为一片集成电路，它包括振荡器、同步电路、复位电路、译码电路、计算器和缓冲电路。信号处理电路主要由平衡、反馈钳位、限幅、矩阵、自动光圈和自动增益电路组成。三板式彩色电视摄像机的方框图如图 13-56 所示。

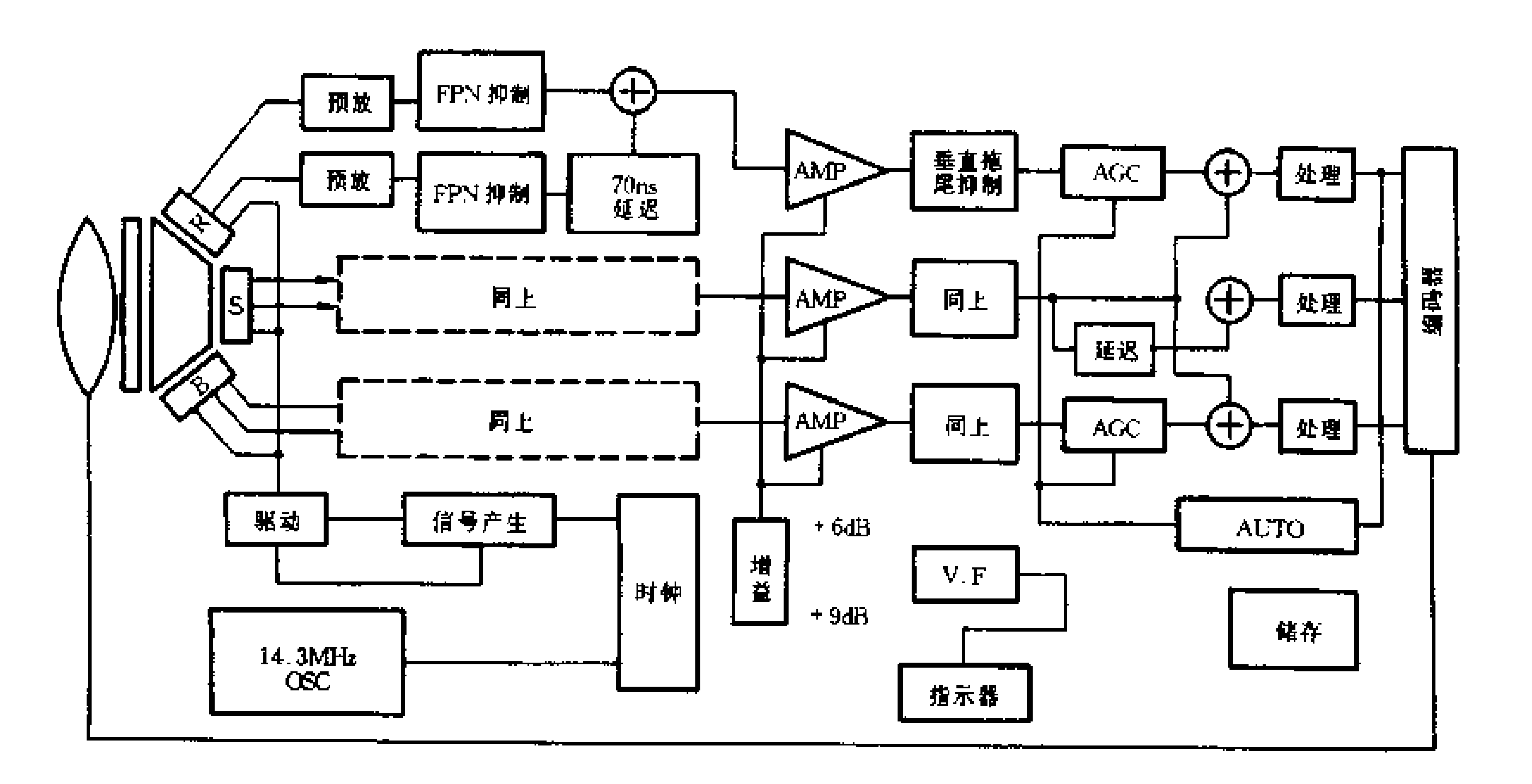


图 13-56 三板式彩色摄像机方框图

六、单板彩色摄像机和摄录一体机简介

三管或三板式彩色摄像机，是目前性能指标最高的机种，但是体积较大，价格较贵，一般仅用于广播领域。在工业、教育、新闻采访、家庭文化娱乐等领域，需要体积小、重量轻、多功能、易操作的小型摄像机或摄录一体机。使用固体摄像器件的单板彩色摄像机或摄录一体机便应运而生，发展非常迅速。目前已有各种档次，多种型号的产品出售。图 13－57 所示，是索尼公司生产的目前世界上最轻巧的摄、录、放一体机，重量仅 790g。它采用 8mm 格式（使用 8mm 录像带），录放时间可达 180 分钟，并且有多种供电方式。

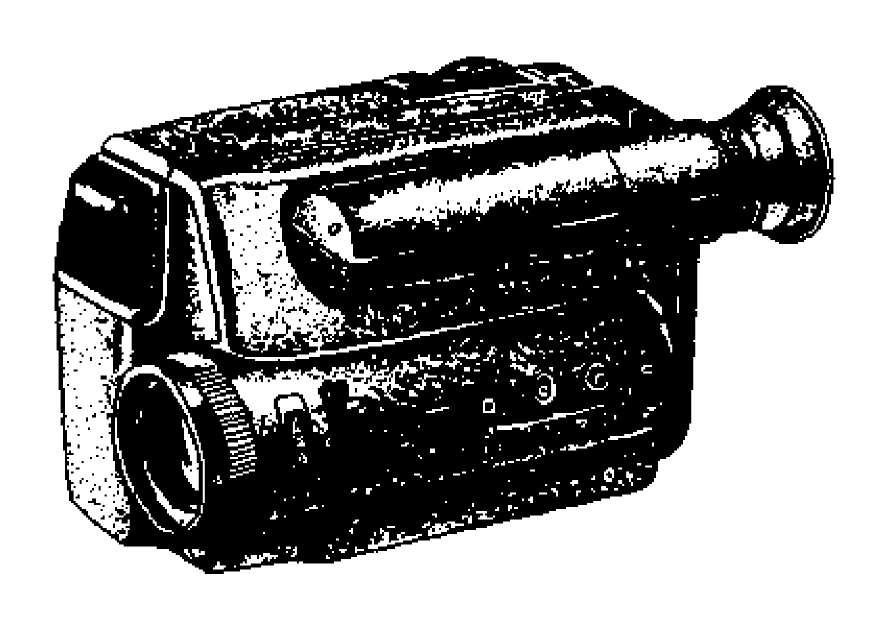


图 13－57　超小型摄录放一体机

单板 CCD 彩色摄像机，不像三管（或三板）摄像机那样，使用棱镜进行分色，而是用所谓的滤色器和有关电路来完成分色的。已经提出的多种单板式 CCD 摄像机的设计方案，其实质性特征都取决于滤色器的结构。图 13－58 是飞利浦公司生产的 1020 型自带滤色器的彩色（光电）传感器。其外形为 24 脚双列直插式。在析像面对角长为 7.5mm 芯片上有 35 万个像素。

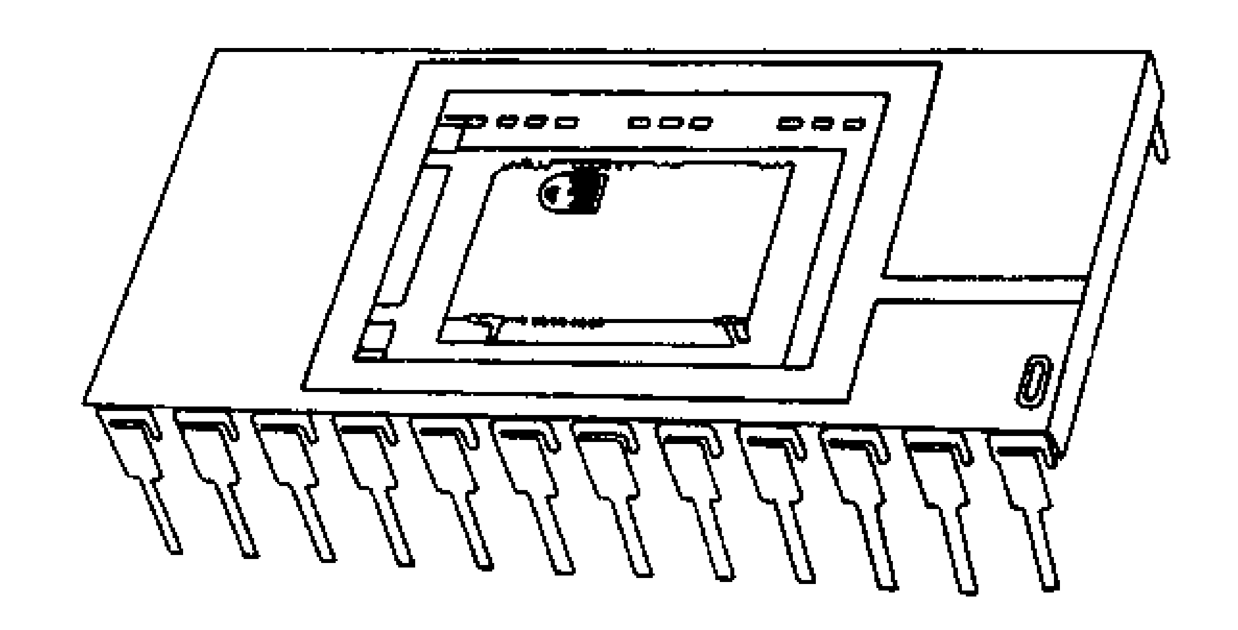


图 13-58 1020 型彩色传感器

1. 滤色器结构

因为人眼对红色和蓝色分辨力低，所以在设计滤色器的时候，应增加绿(G)光取样点的数目，而减少红(R)、蓝(B)光取样点的数目，以便在提高 G 信号上限频率的同时，又能保持图像画面的彩色均匀性。

按照透过不同色光的滤色单元的排列方式，可将滤色器分成三类。如图 13-59 所示，其中图(a)为 Bayer 滤色器阵列。在这种滤色器的每一行上只有两种滤色单元，或者是 G、R，或者是 G、B，因此在整个滤色器上 G 光的取样单元数是 R 光或 B 光的两倍。在图(b)中每一行都有 R、G、B 三种滤色单元，但 G 单元是隔列重复，而 R、B 单元则是隔三列重复。按照 G 的重复方式，称这种滤色器是隔列滤色器或行间滤色器，G 单元的数目也是 R 单元或 B 单元的二倍。图(c) 所示是实现频谱交错的滤色器的阵列，后面将作介绍。

单板(或称单片)摄像机的彩色传感器，一般是把滤色器阵列和传感器阵列分开制作，然后再精确地贴在一起，每个滤色单

元正对着光—电传感器的一个像素。

G	R	G	R	G
B	G	B	G	B
G	R	G	R	G
B	G	B	G	B

(a)Bayer 排列

G	R	G	B	G
B	G	R	G	B
G	R	G	B	G
B	G	R	G	B

(b)行间排列
(隔列排列)

W	G	W	G	W	G
W	G	W	G	W	G
Y	C	Y	C	Y	C
Y	C	Y	C	Y	C
W	G	W	G	W	G
W	G	W	G	W	G

(c)实现频谱交错的滤色器的原理结构

图 13－59　滤色器阵列

2. 单片 CCD 摄像机

单片彩色摄像机的电路构成取决于所用滤色器的种类。下面介绍的频率分离型单片 CCD 彩色摄像机,使用的是图 16－50(c)所示的实现频谱交错的滤色器。这种滤色器每一个滤色单元的排列规则是:每一场的奇数行以 W、G、W、G……的顺序排列,偶数行以 Y、C、Y、C……的顺序排列。图中各滤色单元中所标字母的含义是:W 表示可以透射所有的光、G 表示透射绿光、Y 表示透射红光和绿光、C 表示透射蓝光和绿光。也可以写成

如下等式的形式

$$W = R + G + B$$

$$Y = R + G$$

$$C = G + B$$

按上述滤色单元的排列规则，可以画出摄像机在 CCD 彩色传感器上读出的信号波形，图 13－60(a)所示是在奇数行上读出的信号波形，(b)是在偶数行上读出的波形，(c)、(d)分别表示(a)、(b)所示两波形的线性相加和相减后的波形。

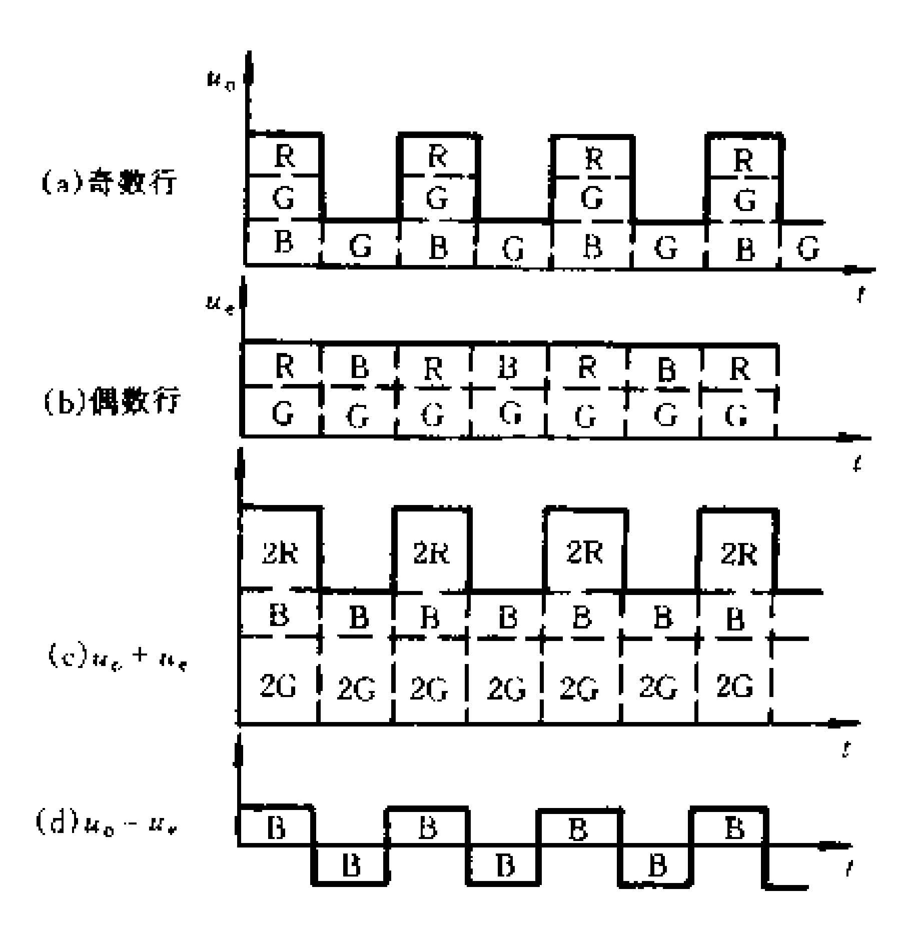


图 13－60　信号波形图

由(a)、(b)所示的波形可以看出，不论是在奇数行还是在偶数行，G 信号的取样数目均是 R 或 B 信号取样数目的 2 倍。另外还可以看出不管是在奇数行还是在偶数行，被取样的 R 信号的相位都是相同的，而被取样的 B 信号逐行倒相 180°。此外，根

据有关理论可得出以下两个结论(假设取样信号的基波频率为 f_c):

(1) 调制在取样脉冲基波分量 f_c(色载频)上的 R 信号和 B 信号的频谱是以半行频($f_H/2$)为间距交错间置的。取样后的 R 和 B 与 PAL 制系统中的 U 和 V 信号两者之间的频谱方式完全相同。

(2) R 和 B 各有 1/2 的能量留在基带内,G 信号 100% 为基带信号,则基带信号 Y_b 为

$$Y_b = \frac{1}{2}R + G + \frac{1}{2}B$$

频率分离型 CCD 单片彩色摄像机的原理方框图,如图 13-61所示。图中在激励器的作用下,从 CCD 传感器上读出信号,读出的信号分为三路,一路经过低通滤波器取出 Y 信号,送至编码器。另一路经低通滤波器送至矩阵电路。第三路经带通滤波器取出调制在 f_c 上的 R 和 B 信号,并经梳状滤波器分离出 R 和 B 信号。Y 信号与 G、R、B 信号在编码器中经过色度编码以后输出的就是彩色全电视信号了。

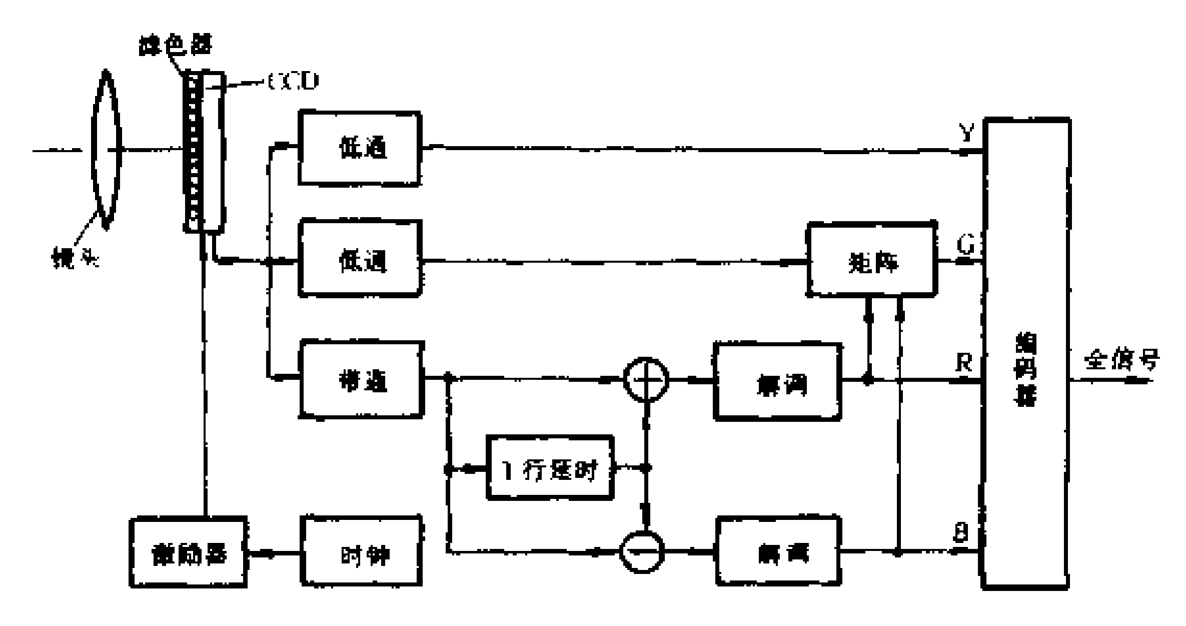


图 13-61 频率分离型 CCD 单片彩色摄像机原理方框图

3. 摄录一体机

摄录一体机按其用途，也可分为广播用、专业用、家庭用三种机型。就销售量来说，家用机种居于首位。因为前面已经介绍了摄像机、录像机的原理知识，故在此仅对摄录一体机的技术性能及发展状况作一介绍。

家用摄录一体机所追求的目标是：体积小、重量轻、多功能、易操作、低价格、低功耗、高质量、长寿命。8mm 录像机是世界上 127 家公司承认的录像机的统一格式，它所用磁带宽度仅为 8mm，磁带盒外形尺寸与普通录音带盒相当。因此，单片 CCD8mm 摄录一体机，有着非常诱人的发展前景。图 16－48 所示世界最轻的摄、录、放一体机就是例证。另外由普通 8mm 机发展起来的高带 8mm 机(又称超 8)其性能指标更高，加之小巧灵便，倍受摄像记者的青睐。下表给出了索尼公司生产的 3 种 Hi8(即超 8)与标准 8mm(也称普通 8mm)兼容的摄录一体机的技术参数，供选购或使用时参考。

	EVO－9100P	CCD－V5000E	CCD－V700E
8mm 方式	Hi8/标准	Hi8/标准	Hi8/标准
CCD	2/3″×1 49 万像素	2/3″×1 49 万像素	2/3″×1 42 万像素
清晰度	400/240 线	400/240 线	400/240 线
电子快门	1/120s～1/10000s 6 挡	1/60s～1/10000s 6 挡	1/60s～1/10000s 6 挡
音频	AFM	PCM AFM	AFM
镜头	8 倍自动	8 倍自动	8 倍自动
重量	1.8kg	3.0kg	1.2kg

8mm摄录一体机推出以后，对VHS摄录一体机是一个冲击，VHS的发明者胜利公司也不甘落后，很快就推出了VHSC型摄录一体机。因为我国家庭广泛使用VHS型录像机，故有必要介绍一下VHSC型摄录一体机的技术性能。

VHSC型摄录一体机与VHS型录像机兼容，采用单片CCD摄像器件，能在1烛光(10lx)下拍摄。VHSC型录像机的磁鼓直径是VHS的2/3，磁带包角约270°，有4个视频磁头，磁鼓转速为37.5转/s。它采用小型磁带，即VHSC带(也称C型带)。C型带与VHS带宽一样(12.65mm)，只是带盒小得多，外形尺寸为92mm×59mm×23mm，与两盘录音磁带盒的大小相似。它附带一个磁带适配器，其外形尺寸与VHS磁带盒一样，把C型磁带放进适配器，就能在普通VHS录像机上放像。目前市场上可见到的机种有JVC公司的GR－7、GR－A30、GR－AIE；松下公司的MC10、M200、M300；夏普公司的C7000、C7100等。其中JVC公司的GR-AIE VHSC型摄录一体机，使用1片CCD彩色传感器，具有自动操作功能，体积为117mm×126mm×316mm，重量仅1.1kg，是家用VHSC机中较为轻便的一种。

为满足专业人员的需要，生产厂家在VHSC型机的基础上，又推出了SVHSC型摄录一体机，当使用SVHSC磁带时，其记录的水平清晰度优于400线，音频系统为HiFi型，记录的频率响应为50kHz～20kHz。松下公司的M50型摄录一体机就是SVHSC型机的一种。

第十四章 光盘机

随着大规模集成电路(LSI)技术、计算机技术、数字信号处理技术和激光技术的发展,一种集光、机、电于一体的光记录技术——光盘技术——应运而生。利用光盘技术制成的新颖音像设备——激光影碟机和激光唱机,具有比磁带录像机更加清晰艳丽的图像,比磁带录音机更为优美逼真的音效。光盘技术的核心内容就是利用激光在特制的圆形光盘上刻录和拾取信号。光盘存储信息容量大,读取时采用非接触方式,操作方便、快捷,无磨损,寿命长。由于这一系列突出优点,近几年在我国得到了迅速的发展和广泛的普及。为此,本节向无线电爱好者介绍光盘技术的基本原理,重点阐述光盘机的结构、技术性能,对光盘机的主要电路进行扼要的分析,为今后的专业学习打下初步的基础。

第一节 概 述

一、什么是光盘技术

大家熟悉的磁带录音机和录像机,采用的是磁记录技术。利用激光在特制的光盘上刻录和读取信息的光盘技术,属于新一代的光记录技术。光盘是信息(图像和声音)的载体,光盘机

则是光盘的播放设备。为了阐述光盘机的组成和工作原理，先要概括介绍光盘和光盘驱动器的基础知识。

1. 光盘

光盘又叫光碟和碟片，它的外形很像电唱机的唱片，但记录的内容却丰富得多。

制作光盘的材料是聚碳酸酯、聚丙烯等耐热、不易翘曲和划伤的塑料。碟片由透明衬底、反射层和保护层等构成。虽然光盘机的种类很多，记录方式也各不相同，光盘的结构却大体相同。一张刻录好的光盘，表面分布着十分密集的一个个的小凹槽，它们是按照螺旋形的光道轨迹来排列的。光盘表面有凹槽的部分和无凹槽的平面部分对激光束的反射特性不同。根据反射激光束强度的变化，利用光敏器件转换成电流的变化，这种电流的变化对应着光盘存储的信息。

光盘是记录声音、图像或其它信息的载体。为了写入或读出这些信息，需要借助光盘驱动器配合写/读信号处理系统来完成。

光盘机采用半导体可见光激光发生器(简称激光器)作为光源。激光器的关键部件是激光二极管，它可以激发出确定波长的激光。激光束经过光学系统的聚焦，成为直径不到 1μm 的光点，利用这样细微的一束激光在光盘上写入信息。当信息写入时，激光束被信号所调制，引起光强度的变化，随着光盘的不断旋转与激光头的缓慢移动，在光盘上就留下了一圈一圈连续不断的螺旋形的信迹轨道。被激光照射过的位置将会发生物理或化学变化，从而记录了写入的信息。那些未被激光照射过的地方保持原样，这些地方称为平台。

在读出信息时，所需激光束的能量就要小些。利用聚焦成一束的细微的光点，正确地对写入的信息进行扫描，与写入时的

方式相同。如上所述，光盘上写入时留下的痕迹和未被激光束照射过的平台，在激光束扫描时对光束会有不同的反射，反射回来的光被激光头中的光电探测器接收，并转换成电信号，这个电信号就是存储在光盘上的信息。

2. 光盘驱动器

光盘驱动器包括供电系统、机械系统、伺服系统和整机控制系统。

光盘驱动器中的供电系统为整机供电。

机械系统的作用是装载碟片，同时通过转盘机构使光盘旋转。

伺服系统用来保证激光头中的激光束对信迹轨道的正确跟踪与扫描。具体地说，光盘高速旋转时，激光头与盘片之间相对速度很高，为使盘片的信息记录面始终在激光束的聚焦点范围内，误差不超过 ±2μm，就需要由倾斜伺服、跟踪伺服和聚焦伺服来保障。要保证碟片的转速正确，重放和写入时二者时间基准一致，需要由主轴伺服和重放电路中的时间基准（TBC）电路共同完成。

二、光盘机的主要类型

光盘机的种类很多，从写入、读出方式上可以分为只读型、可重写型和一次写入多次读出型三类。本书只介绍应用最多的只读型光盘机。只读型光盘机主要包括激光唱机（CD 唱机）和激光影碟机（包括 LD 机、VCD 机、超级 VCD 机及 DVD 机）。

1. 激光唱机（CD 唱机）

CD 是 Compact Disc 的缩写。因为它采用数字方式处理音频信号，所以称为 Digital Audio，即数字音频，又称为 CD-DA。

（1）CD 机的特点

CD 机的特点是靠激光束拾取信号，光盘几乎没有磨损，质薄而轻，无磨擦噪音。在重放时音质好、失真小，多次重放音质也不会变坏。虽然单面使用，却能重放 74 分钟的高保真音乐。

(2) CD 机的功能

CD 唱机和机械式唱机的作用一样，只能通过录制好的唱盘进行播放。所不同的是，CD 机在重放中具有快速向前向后搜索节目、预选节目的功能，也可以进行暂停、快进、快退等操作。一般 CD 机均具有遥控功能。这些都是机械式唱机无法与之相比的。

(3) CD 机的声音质量

由于 CD 机采用数字方式记录声音信号，所以重放时没有附加的噪声，只要录制过程中处理得好，在重放时就可以忠实地再现原来的声音质量。将 CD 机用于高保真放音系统，其有频带宽(20Hz ~ 20000Hz)、信噪比高、动态范围宽、抖动小(不变调)等优点。

(4) CD 机采用的技术标准

CD 唱机是由日本索尼(SONY)公司和荷兰飞利浦(PHILIPS)公司在 80 年代推向市场的，它们共同制定了用 CD 储存高保真数字音频信号的标准，称为 Compact Disc-Digital Audio，简称 CD-DA 标准，其中规定了 CD 的尺寸、物理特性、纠错编码和调制方式，称为红皮书和 IEC908。

2. 激光影碟机(LD 机)

激光影碟机又称为激光视盘机(Laser Video Disc)简称为 LD 机，它是一种声音和图像的播放设备。

(1) LD 机的特点

LD 机所用的光盘，也是利用激光将图像和伴音信号刻录在特制的圆盘——激光视盘上。然后，再利用激光将刻录在光盘

上的图像和伴音信号拾取并重放出来。值得注意的是,LD 光盘对视频和音频信号的处理采用的是模拟方式,即用调频和频分复用技术把视频和音频信号调制在各自的频带上,然后刻制在光盘上;重放时,激光头拾取信号,经 FM 解调后还原成视频信号和音频信号。

标准 LD 光盘的直径为 30cm(CD 光盘直径为 12cm),LD 光盘一般为两张光盘复合在一起,成为双面光盘。LD 光盘表面即使有些灰尘或细小的划痕,也不会影响激光束对信息的拾取,所以 LD 机抗干扰能力强,可靠性较高。

(2) LD 机的播放质量

LD 机的伴音播放质量与 CD 机水平相当,图像播放时的清晰度可以达到 400 线左右,质量较好。

3. 激光小影碟机(VCD 机)

VCD 是 Video CD 的缩写,也就是视频 CD。它是在 1993 年 8 月由荷兰飞利浦、日本 JVC、索尼和松下四家公司联合开发的音像播放设备。VCD 光盘与 CD 光盘外形尺寸相同(12cm),比 LD 光盘小得多,所以又称为小影碟机。

(1) VCD 机的特点

VCD 光盘上记录的音频和视频信号都是经过数字技术处理过的。在直径 12cm 的光盘上可以记录 74 分钟的活动图像,并提供双声道伴音。在这样小的光盘上记录这样多的信息,是因为采用了压缩比很高的数字编码技术。按照 MPEG1 的技术标准,图像信号的压缩比达到了 1/120~1/130,音频信号的压缩比达到了 1/6。

VCD 全面继承和采用了 CD 机的信号记录和重放技术,数据的传输率与 CD 相同,所以,VCD 机一般与 CD 兼容,也就是可用来播放 CD。在一般的 CD 机上,加装一个解压卡(MPEG 解码

器),也可以重放 VCD。

(2) VCD 机的图像播放质量

VCD 机在电视机上重放时,水平清晰度可达 250 线,比 LD 机差,只有 VHS 录像机的水平。但是,由于可利用生产 CD 的制造设备生产 VCD,其价格只有 LD 的 1/6 左右。VCD 盘片的价格低廉,节目源丰富,所以近几年 VCD 机在国内迅速得到了普及。

(3) VCD 机的伴音记录与重放

VCD 对伴音音频信号数据是按 MPEG-I 的技术标准进行压缩编码的,它的录制方式是双通道或立体声。在立体声节目录制时,一个通道为左声道,另一个通道为右声道。在录制双通道节目时,一个通道有音乐无演唱;另一个通道有音乐也有演唱。在双语节目中,一个通道为某种语言,另一个通道为第二种语言。以上伴音形式均可在 VCD 机上自由选择,随用户意愿进行播放。

4.DVD 影碟机

DVD 是"Digital Video Disc"的缩写,意为"数字视频光盘"。目前,DVD 家族的成员有:DVD 唱盘(DVD-Audio)、DVD 视盘(DVD-Video)、只读 DVD(DVD-ROM)、一次性写入 DVD(DVD write-one)及可重写 DVD(DVD-writable)等,由于它的用途非常广泛,DVD 已改名为"Digital Versatile Disc",即"数字多用途光盘。本书仅介绍用于视频播放的 DVD-Video,以下均简称为 DVD。

DVD 标准与 CD、VCD 的标准不同,因而它们之间没有互换性。目前,CD 机、VCD 机不能通过改装升级成为 DVD 机。DVD 机的主要特点有:

(1) 比 CD、VCD 有更高的记录密度

普通 CD 机采用的是波长 780nm 的激光器。在 DVD 机中,为了提高记录密度,采用了波长为 635/650nm 的激光,使用短波

长的激光，聚焦在碟面的光点直径更小，凹槽就可以缩小，信息轨道的间距和记录信号的最短长度都能缩小（DVD 的最小凹槽的长度是 0.4μm，凹槽间距为 0.7μm），这就使得 DVD 可以在有限的空间中存放和读取更多的数据资料；此外，DVD 光盘采取在一个面上分双层记录信息的方式，即上面一层是不透明的，下面一层是半透明的结构。开始拾取信号时，激光束聚焦于第一层上的信迹，读完第一层后，把激光束的焦点对准第二层的信迹，这样，它的容量相当于普通 CD 容量的 7～26 倍。

（2）DVD 具有更高质量的视频和音频重放

DVD 在图像压缩编码上采用了 MPEG-Ⅱ的技术标准，压缩率比 MPEG-Ⅰ更高，重放时图像的水平分辨力可达 550 线以上（PAL 制），亮度分辨率和色度分辨率分别是 VCD 的两倍，像素传输速度大约是 VCD 的 16 倍。图像显示逼真、自然，表现力更强，不会出现 VCD 机播放时常见的“马赛克”现象。

同理，对于音频信号，DVD 较大限度地保留了人耳听觉敏感的频段，音质远远超过使用 MPEG-Ⅰ的 VCD，而且 DVD 采用杜比 AC-3 或 DTS“影剧院”的多声道标准。例如，5.1 通道格式包括：左、右声道；中置声道；左、右环绕声道及超重低音声道。DVD 最多可达 7.1 通道的环绕声信号。DVD 还能为用户提供多种语言选择，比 VCD 提供的两种语言有更大的选择余地。

（3）具有防拷贝技术措施

为了防止 DVD 碟片被盗版、拷贝，在 DVD 影碟和 DVD 机中加入了“防止连续拷贝识别系统”，该系统禁止或只允许一次合法拷贝。另一方面将全世界分为六个大区域，在 DVD 光盘和 DVD 机中加入发行地区和合法销售区域的“识别代码”，其中中国内陆被列为 6 区。每个区域的 DVD 机仅能播本区的 DVD 盘，其他区域的播放机没有相应的密码资料，就不能解码和重放。

第二节　光盘机的组成

不论何种光盘机，都是由以下五部分组成的，即：激光头、伺服系统、信息的读出(或写入)系统、整机控制和机械部分。本节对各部分的结构和功能分别进行简要的介绍。

一、激光头

在光盘机中，信息的写入与读出都是由聚焦成直径 1μm 以下的激光束对光盘进行照射来实现的。能发出所需要的激光光束的装置称为激光头。

1. 激光头的结构

激光头简称为光头，不同类型的光盘机使用的光头也不相同，但它们都包括激光器、光电探测器、光学系统、光点定位及激光功率控制系统。图 14－1 是一种 CD 机的激光头结构图。

2. 激光头中使用的半导体激光器

激光原文为 Laser。激光是和普通光线完全不同的光波，它的特点是单色性好(波长单一)、光束的亮度高，并能被聚焦成极细微的光束。使用激光束在光盘上拾取信号，分辨力很强，信噪比很高。

激光影碟机和激光唱机中都采用着半导体可见光激光发生器(简称激光器)作光源，激光器是各种光盘播放机的基础和关键部件。

(1) 半导体激光器的特点

半导体激光器的关键器件是激光二极管，它可以激发出确定波长的激光。实用的激光器要求激光二极管辐射出强度恒定的激光束，否则将影响读出数据的准确性。为此，应设置自动控制

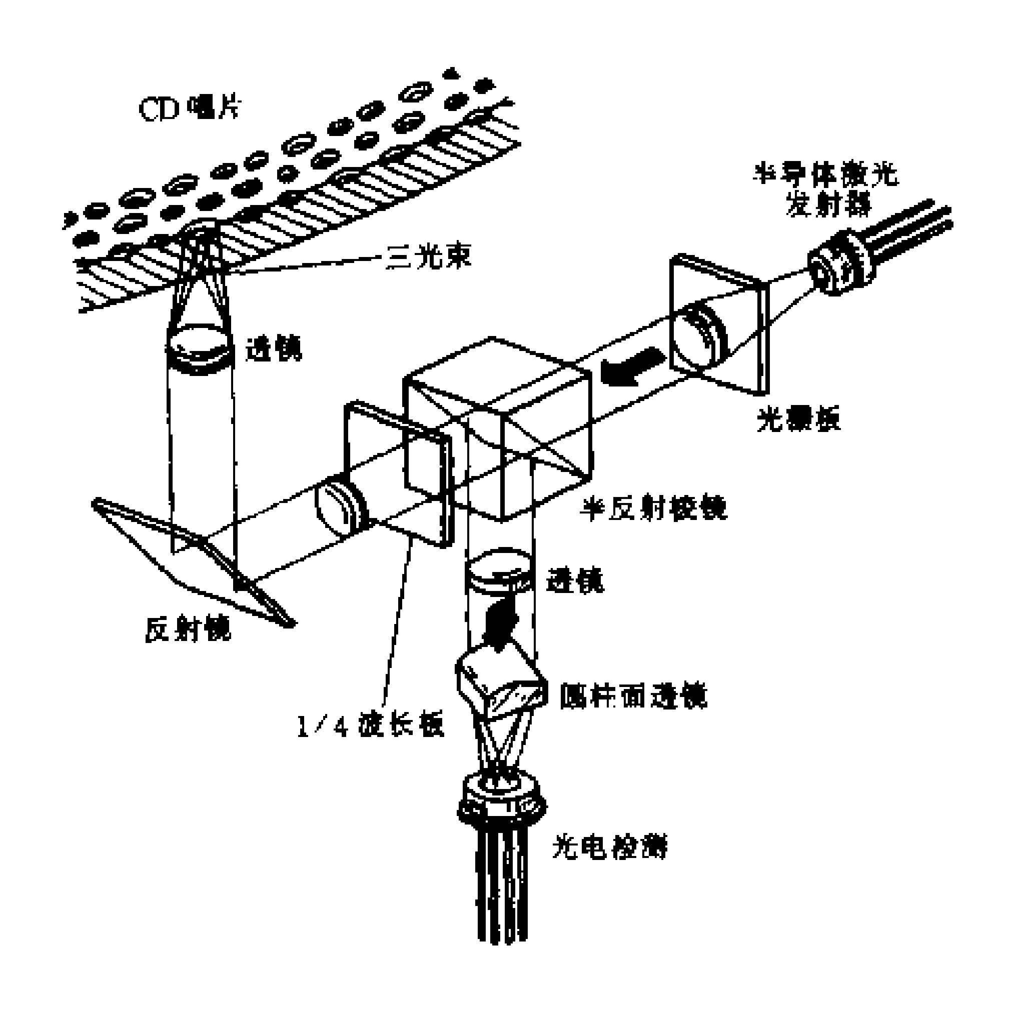


图 14-1 激光头的结构

电路，以确保输出光强稳定。通常，在激光二极管的旁边，还要辅设一只光电二极管作为光电检测器件，用以检测和控制激光强度，并通过它控制供给激光二极管的电源电压，保持激光的输出功率稳定。常用的激光二极管有三根引线，一条引线为激光二极管提供电源，一条引线为光电二极管输出，另一条引线为接地线。

(2) 激光的波长

一般 CD 机、VCD 机和 LD 机使用的激光波长为 0.78μm 的近红外光，光盘上的凹槽与之相对应，凹槽宽度为 0.5μm，相邻两条信息轨道的间距为 1.6μm；DVD 机中激光器所发出的激光波长为 0.65μm，DVD 光盘的凹槽宽度为 0.7μm，相邻两条信息轨道的间距为 0.74μm。所以，CD 光盘的容量为 680MB，而 DVD 光盘的存

储量提高到 4.7GB ~ 17GB,大约相当于普通 CD 容量的 7 ~ 26 倍。

(3) 半导体激光器的输出功率

利用激光器拾取光盘上的信息时,必须保证一定功率的激光输出,否则会使噪声增大,信噪比降低。当使用劣质盗版光盘时,由于光盘上的误码多,使信号读出困难,这时,光盘会自动调节激光器电源,增加激光器的输出功率,长时间这样使用,会加速激光二极管的衰老,缩短激光器的寿命。

3. 光电检测器

光电检测器由光电二极管构成,它的主要作用是把光盘上反射回来的强弱变化的光转换成电信号,同时还起着监测激光束聚焦和激光束对信迹跟踪的作用。

(1) 光电检测器的工作原理

光电二极管是一种把光信号转换成电信号的半导体器件。电信号的大小与光照强度成正比。因为光盘上的信迹是一连串的凹槽,在没有凹槽的地方和凹槽的底部都是平面。当激光束照射到平面部位时,产生全反射,反射到光电二极管上时,输出电压较高;当激光束照射到凹槽的边缘时,产生散射,反射到光电二极管上的光很少,输出电压较低。这样,通过光电二极管就检测出了光盘上存储的信息。

(2) 光电检测器的结构

光电检测器又称为光电转换器,它是由 6 只光电二极管组成的阵列,如图 14 - 2 所示。从光盘反射来的三束激光照射到光电二极管阵列,将光信号转换成电信号。图中中间部分 A、B、C、D 四个光电二极管主要接收主光束的反射光,获得由光盘输出的数据信号,并检测出聚焦误差信号,可使激光束在光盘上保持良好聚焦。两侧的光电二极管 E、F 拾取两侧的辅助光束,用于监测激光束对信迹轨道的跟踪是否准确,并产生循迹跟踪误差信号。

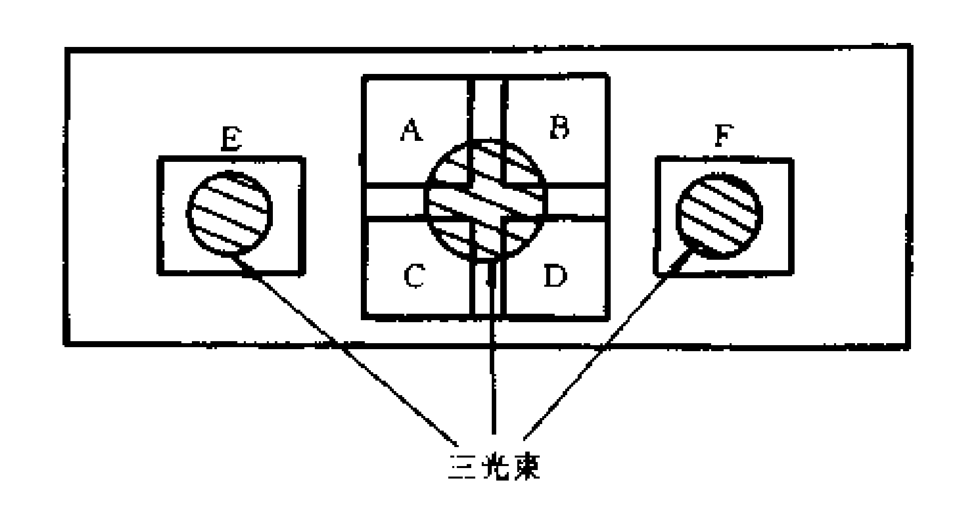
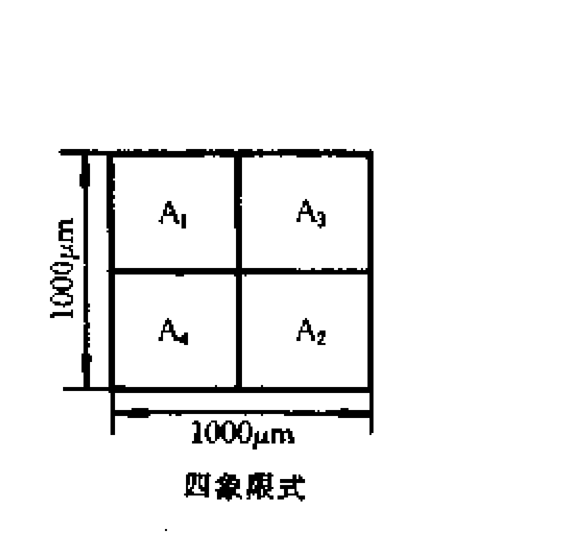


图 14－2　三光束光头用光电检测器

图 14－3 是单光束光头中常用的四象限式和六象限式两种光电检测器。在四象限光电检测器中，信号拾取、聚焦监测及信迹跟踪均由 A_1、A_2、A_3、A_4 四个光电二极管完成；在六象限光电检测器中，信号拾取则由 6 个光电二极管共同完成，而聚焦和信迹跟踪由中间 4 个光电二极管完成。



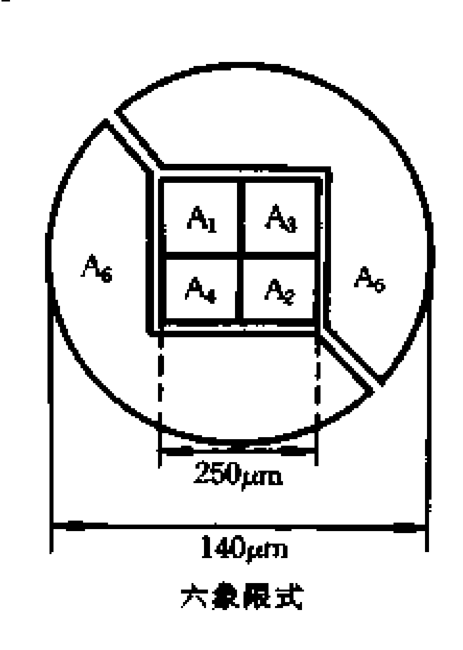


图 14－3　单光束光电检测器

4．光学系统

光盘机的激光读取系统，是利用激光束完成光盘上信号的

拾取、激光束的聚焦情况监测及激光束对信迹跟踪情况的监测。可分为三光束和单光束光学系统两大类。

(1) 三光束光学系统

在影碟机中一般采用三光束系统读取光盘上的信息。由激光二极管发出的激光束,经过分光光栅(衍射光栅)后分裂为三条激光束,中间一束激光最强,是主光束,主要用于读取数据,并维持激光束在光盘信息面上的良好聚焦。两侧稍弱的光束为辅助光束(边束),主要是向伺服系统提供循迹跟踪信息。

采用三光束系统可以简化伺服机构,工作也比较稳定,缺点是光学系统中的光路稍长,易受光盘上的污痕、指纹等影响。三光束系统结构如图 14-4 所示。

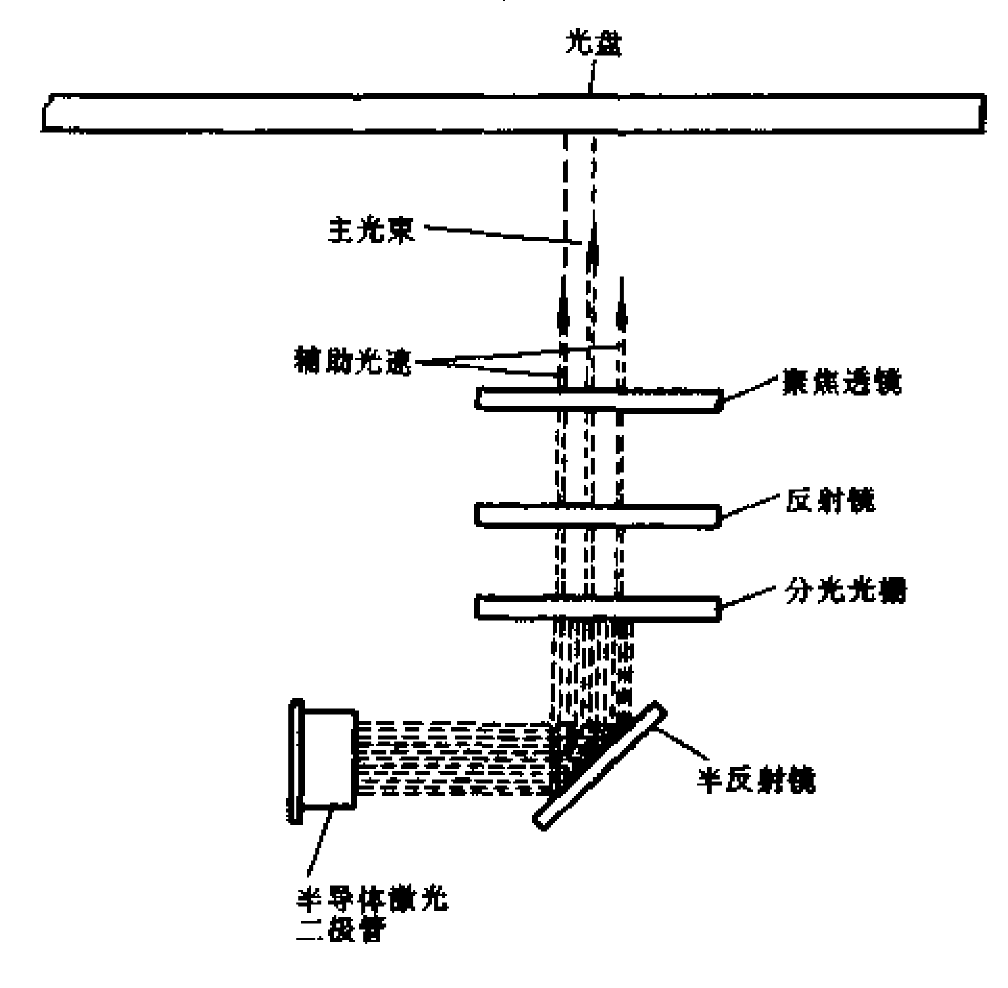


图 14-4 三光束系统

(2) 单光束系统

有些 CD 机中采用单光束系统，它的特点是结构简单，抗污迹、指纹等干扰的能力强。

单光束是指只有一束激光照射到光盘盘面上，这一条光束既要拾取信息，还要进行聚焦检测和信迹跟踪的误差检测。它是利用从光盘上反射回来的光束完成这些检测的，如图 14－5 所示。

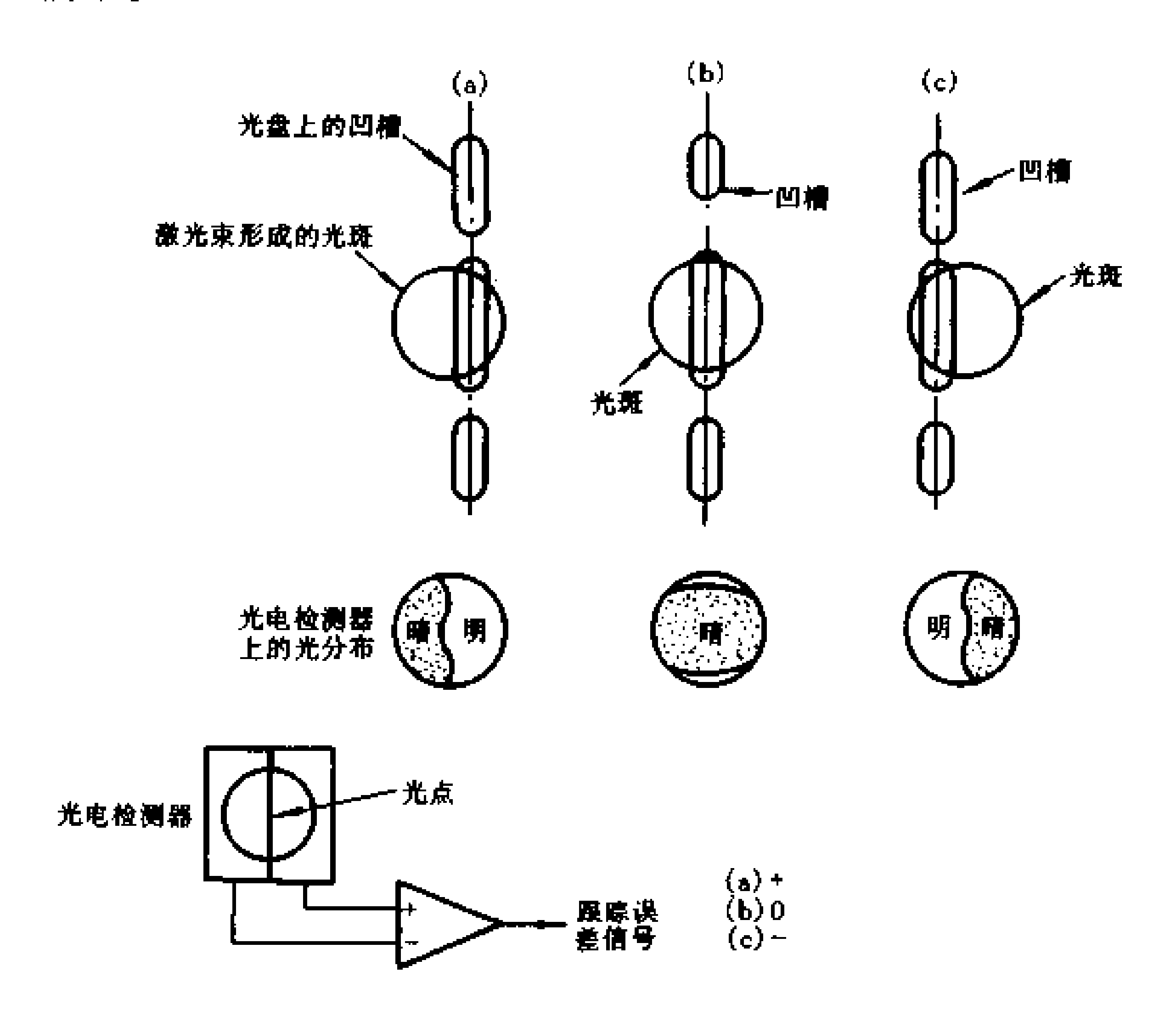


图 14－5 单光束系统

当单光束跟踪信迹的凹槽正确时，反射到光电探测器上的光是均匀的；当跟踪出现偏差时，反射到光电探测器上的光是不

均匀的；当出现激光束向左或向右偏时，反射回来在光电探测器两侧也会明暗不同。如果把探测器用四只光电二极管分开，用对角线连接形成两组，它们的差值就是跟踪的偏差信号，图 14-3 中四象限形式中的跟踪误差信号为

$$FE = (A_1 + A_2) - (A_3 + A_4)$$

5. 光头的控制

为了保证光头的正常工作，应对光头进行控制，主要是对激光二极管输出功率的控制和激光点定位的控制(激光束的聚焦控制和径向切向跟踪控制)。

(1) 激光输出功率的控制

为什么需要对激光的输出进行控制呢？这是因为当工作电流受外界温度等因素影响而增大时，会使激光器输出功率随之增大，有可能造成激光二极管的永久性损坏。在写入信息时，若激光功率发生起伏变化，则记录在光盘上的信号也必然会发生变化，在读出这些信号时就会产生噪声；此外，半导体激光器会随使用时间的加长而引起输出功率的下降。

为了克服由上述原因造成的激光功率的波动，在光盘存储系统中对激光器采用了反馈控制电路，如图 14-6 所示。利用激光二极管内部的光电二极管，把检测到的反映激光功率的电压，与事先设置好的基准电压进行比较，形成误差信号去控制半导体激光二极管的工作电流，从而稳定了激光器的输出功率。

(2) 光点定位控制

光点定位控制是光盘信迹跟踪控制的一个组成部分。光头把激光束聚焦成为 1μm 左右的一束圆形光束，落在光盘盘面上，形成读写用的光斑，这需要由聚焦伺服系统来保证。另外，这一束激光打在光盘盘面上前后左右的位置是否正确，也是非

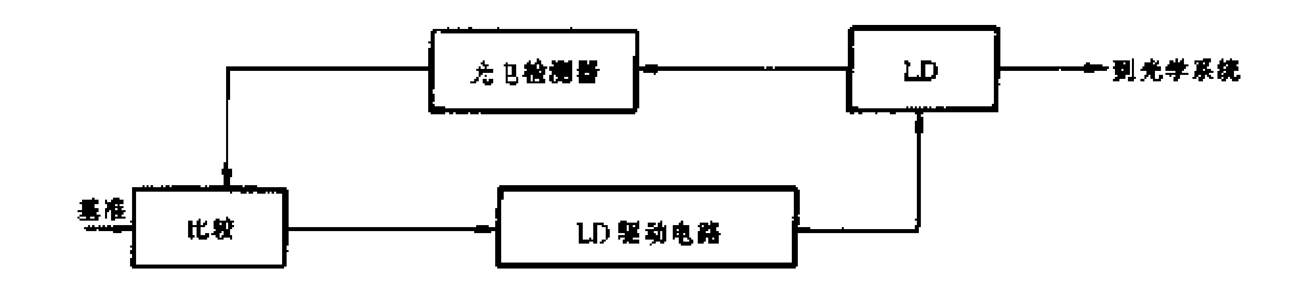


图 14-6 激光输出功率的反馈控制电路

常重要的。激光头只能横向移动,所以激光束在光盘上前后的位置是否准确,应由带动盘片转动的主轴来决定,在光盘机中称为时基伺服(TBC 伺服)。激光束在左右位置上是否准确,由光头的进给量决定,它是由径向跟踪伺服电路来保证的。

二、伺服系统

大家知道,光盘上的信迹凹槽尺寸非常小(微米级),光头拾取信号时总会产生聚焦误差、径向跟踪误差和切向跟踪误差,仅仅靠提高机械系统的精度是不可能实现准确地跟踪的,为此,必须配合相应的伺服系统来保证跟踪的准确性。伺服系统通常包括聚焦伺服、循迹伺服、进给伺服、主轴伺服及时基(TBC)电路等。

1. 聚焦伺服系统

光盘机在播放光盘的过程中,由于光盘运转的不平稳,造成盘面的上下摆动,使得激光束射向盘面上的反射面的距离不断地发生着变化,即光头发出的激光束的聚焦光点不能保证随时准确地射到光盘的信迹凹槽上,因而无法随时准确地全能量拾取光盘信息。聚焦伺服系统的作用就是通过对光盘偏摆的检测,去控制聚焦物镜,使物镜和光盘信息面之间的距离保持恒定,始终保持良好的聚焦状态。

(1) 聚焦伺服系统的组成

聚焦伺服系统由聚焦误差检测、聚焦信号处理电路和调焦机构等几部分组成,其方框图如图 14-7 所示。

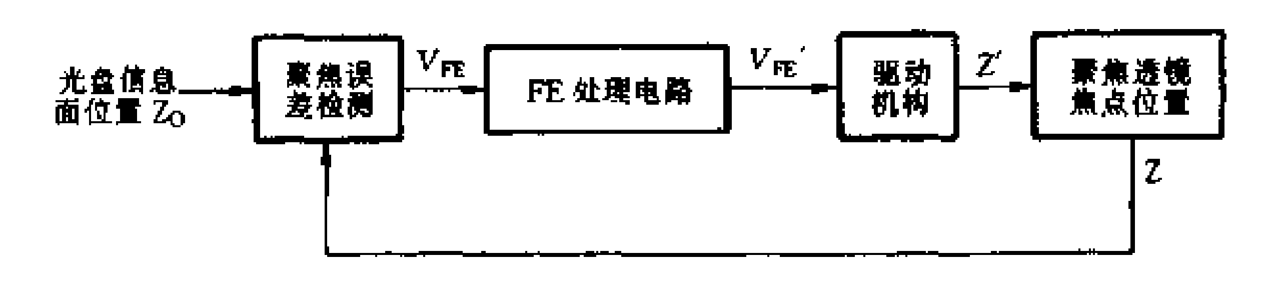


图 14-7 聚焦伺服系统框图

利用精密的光学系统,可由光盘反射光检测得到聚焦误差信号 V_{FE},经过校正网络对 FE 信号进行放大和相位校正后,送到聚焦驱动机构,推动物镜做上下垂直方向的位移,以保持激光束在光盘信息面上有良好聚焦。

(2) 聚焦误差的调节

聚焦误差调节电路由聚焦误差检测、聚焦伺服电路和调节焦距机构等组成,如图 14-8 所示。

由图可见,由控制电路及光路组成的聚焦控制电路是一个闭环系统。聚焦误差取样信号是由柱面透镜和光电二极管组成的象限光电检测器产生的。象限光电检测器前设置的柱面透镜有单方聚光作用,使经过柱面透镜的反射光束到达光电检测器上的光点形状与物镜的距离有关,当物镜的位置正好处于最佳的聚焦位置时,光点为圆形,而当物镜与盘片的距离变近时,形成的光点为水平方向的椭圆形,当物镜和碟片距离变远时,形成的光点为垂直方向上的椭圆形。根据光点形状的不同,聚焦检测器检测出光束聚焦误差 FE 信号,并通过聚焦放大、聚焦伺服及驱动机构送到聚焦线圈中完成控制过程。图 14-8 中的物镜(聚焦透镜)安装在聚焦线圈上,然后把装有物镜的线圈置于永久磁铁之中,并使线圈能够上下活动,这种结构很象扬声器中的

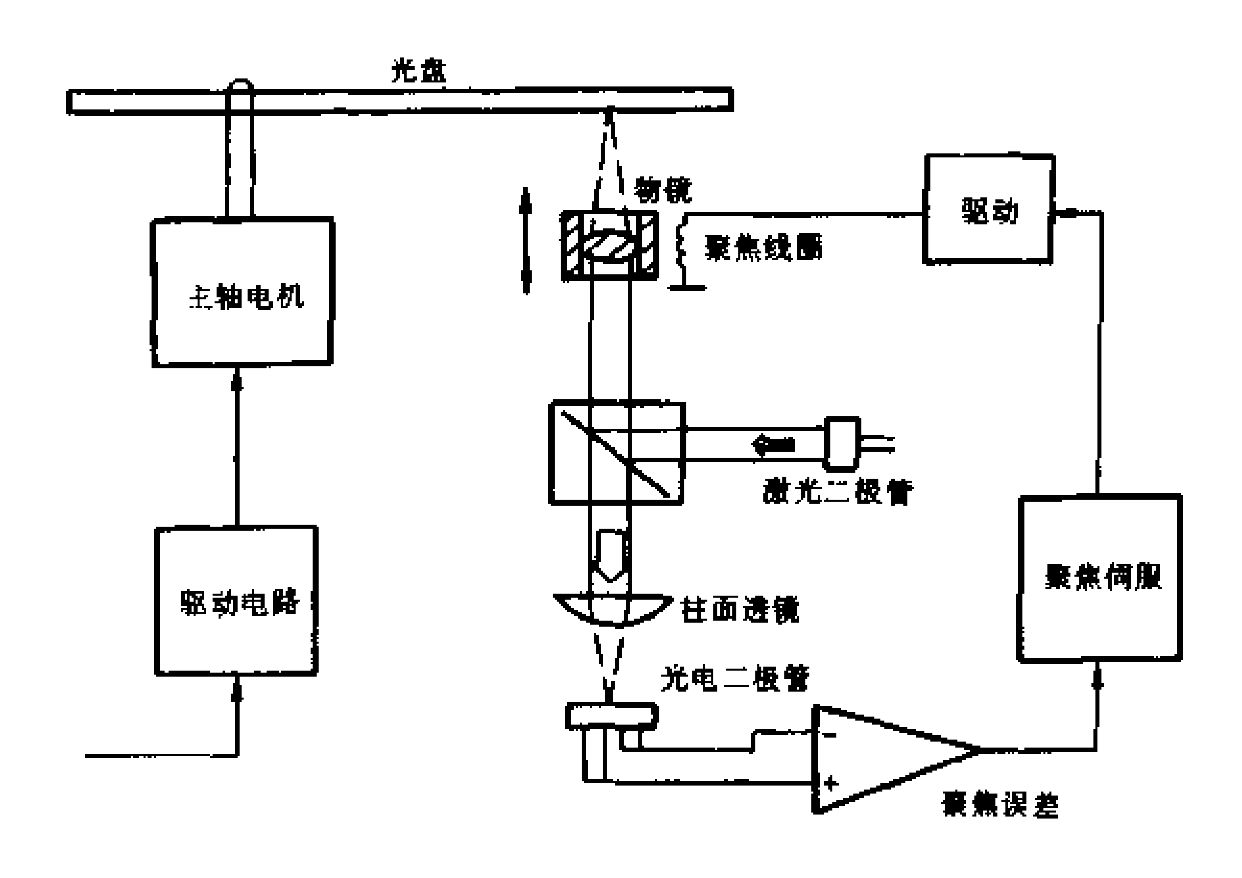


图 14－8 聚焦误差的调节

音圈，只不过音圈中通过的是音频交变电流，使音圈振动带动纸盆发声，而聚焦线圈中通过的是调节电流，使线圈带动物镜上下移动，确保激光束在光盘信息面上的良好聚焦。显然，聚焦伺服系统所进行的是一个动态控制过程，因为高速旋转的光盘在不断抖动，焦距随时会产生误差，聚焦调节也是每时每刻都在进行着。

2. 循迹伺服与进给伺服系统

循迹伺服又叫跟踪伺服。大家知道，光盘上的信息凹槽是螺旋形分布的，凹槽仅有 0.4μm 宽，各轨道间距仅为 1.67μm。当光盘高速旋转时，在直径方向上略有偏移(偏心旋转)，就会使激光束跟不上正确的信息凹槽，读不出正确的信号。另外，随机检索功能还要求光头在几秒钟内找到光盘上记录的任一信息内容，需要光头能在光盘的直径方向上快速移动，这就是循迹进给

伺服系统所要完成的工作。

(1) 循迹伺服电路的组成

光盘读取时产生径向误差的原因主要有：光盘机主轴定位孔有偏心，上盘时光盘中心孔与夹盘装置之间有误差，光盘机主轴轴承中的间隙以及光盘上螺旋形的信迹中心与主轴中心不重合等因素。经实际测试，光盘在旋转过程中这种误差最大可以达到 ± 70μm。若不消除这种误差，正确读出信息是不可能的。

循迹伺服是小范围调节，循迹伺服系统示于图 14－9 中。循迹伺服电路与聚焦伺服电路相似，是由循迹误差检测、循迹伺服处理及驱动机构等几部分组成，调节过程也很类似。循迹误差检测有三光束法与单光束法两种方法，后面将分别介绍。

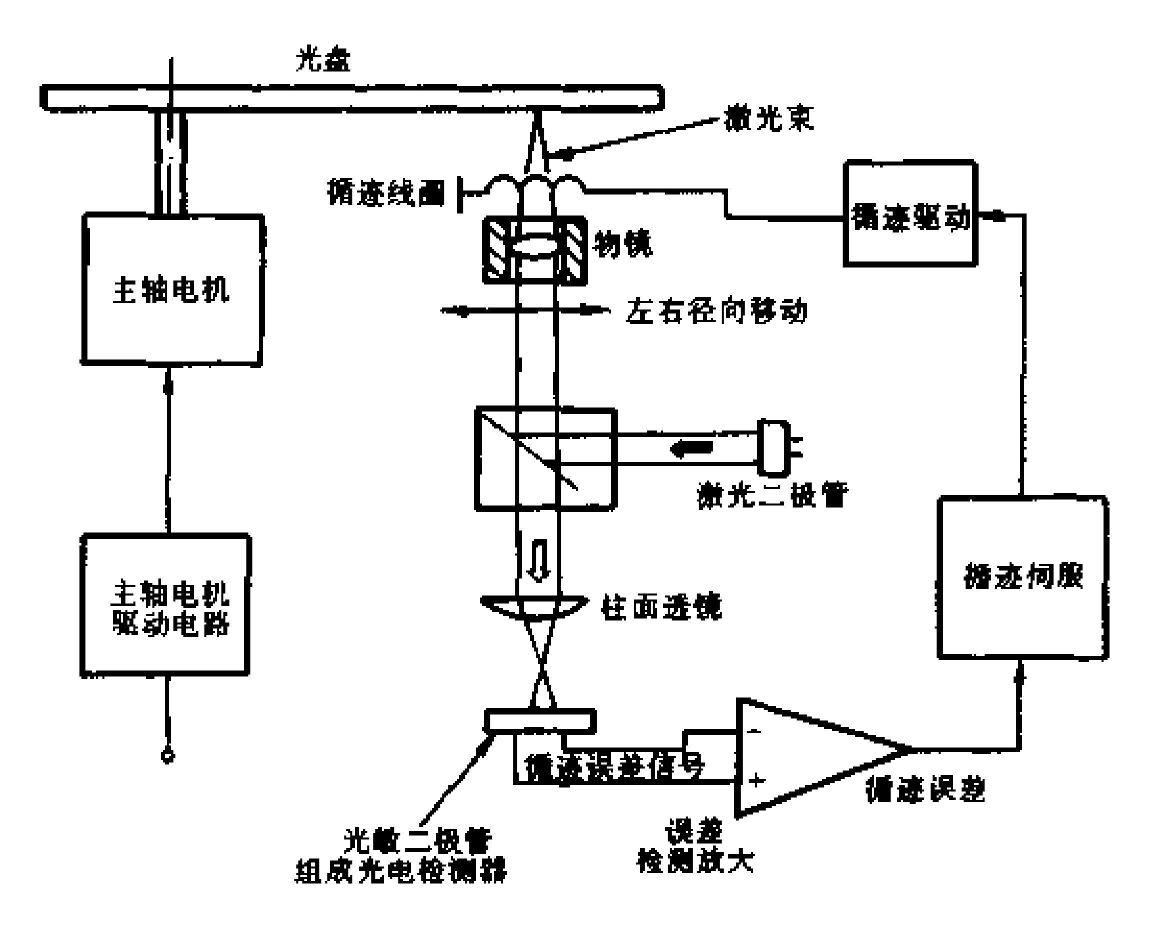


图 14－9 循迹伺服系统

（2）三光束循迹误差检测方法

经过光栅的激光束，被分成一字形排列的三束光，中间的主光束是读取信号用的，位于主光束两侧的辅助光束，用于检测循迹误差，如图 14－10 所示。由图可见，三光束在跟踪时有三种情况：

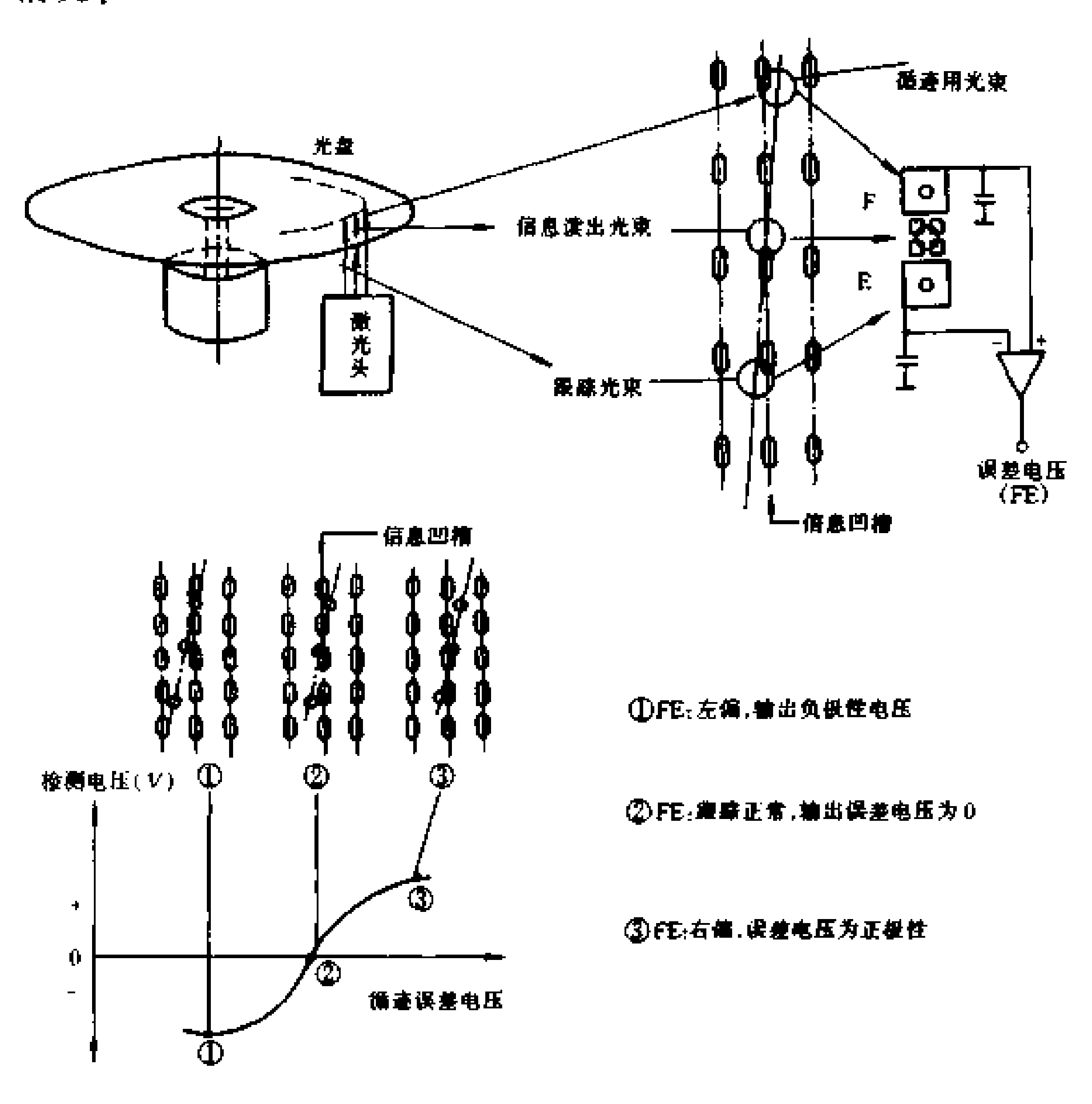


图 14－10 三光束循迹误差的检测

① 三光束偏左。左侧光束已打在两条信迹凹槽之间的平面上，这时反射光为全反射，光的亮度大，反射到光电检测器 E 上的光达到最强；同时，右侧辅助光束同时偏左，已照射到信迹

凹槽上，因此反射光有强弱变化，平均亮度变弱，所以在光电二极管 E 和 F 上的输出不一样，F 输出变弱。经过运算放大器输出的误差电压 FE 信号为负值。

② 跟踪正确。此时主光束对准信迹凹槽中心，左右光束在主光束两侧对称地照射在信迹凹槽上，因为两个辅助光束偏离量相等，所以反射回来照射在 E、F 两个光电二极管上的光能量相等，E、F 输出相同，此时运算放大器输出为零。

③ 三光束向右偏移。偏移检测原理与上述向左偏移的情况类似，只是光电二极管 F 的输出大于 E 的输出，经运算放大器后输出为正值。

误差电压 FE 信号经放大处理后驱动跟踪机构，调节光束正确地跟踪信迹轨道，以便读出光盘上的信息。

(3) 单光束循迹误差检测方法

单光束系统只有一束光，即用作信号读取，又用作循迹误差检测。它使用由四个光电二极管组成的光电检测器。

单光束系统检测循迹误差大多采用"光摆动法"。光摆动法是使激光束产生微小的左右摆动，利用光电检测器的输出与激光束摆动的关系就可以测出循迹误差，它的工作原理示于图 14-11中。

由图 14-11 可见，在跟踪反射镜上装有一个具有压电效应的摆动机构，使激光束摆动幅度为 0.1μm，摆动频率为 60kHz 左右。当循迹正确时，光束围绕信息凹槽中心左右摆动；当光束偏离中心向左摆动时，输出幅度下降；当光束向右摆动通过信迹中心时，输出幅度最大；当光束向右偏离时输出幅度又会变小，输出电压为有规律的大小变化的波形。当整个光束中心向左偏移，光束摆动后输出会有所不同。此时，光束向左摆动输出会更小；光束向右摆动时输出变大，且有一段时间保持不变。当整个

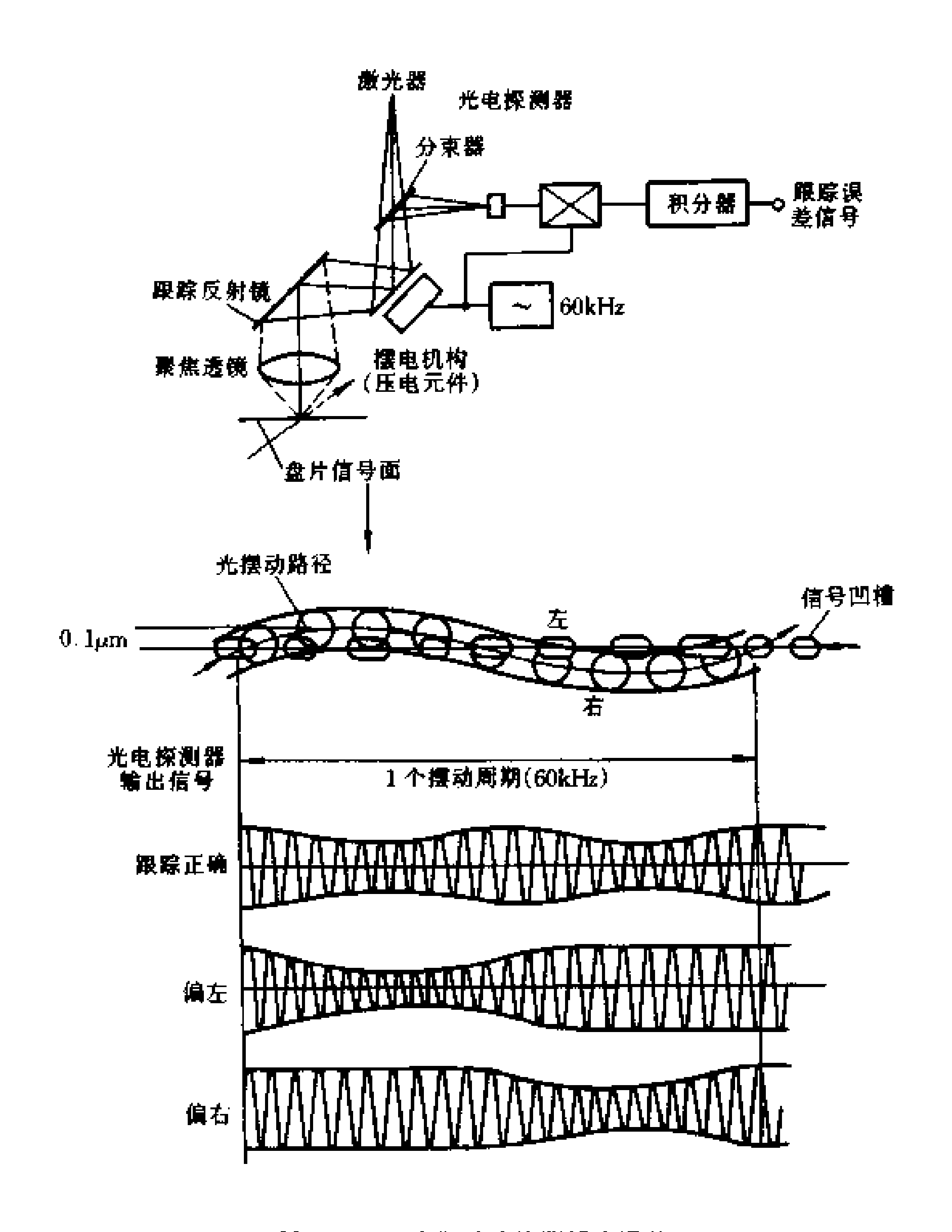


图 14-11　光摆动法检测循迹误差

光束中心向右偏移,光束开始向左摆动时,输出幅度大且保持一段时间不变化;当光束向右摆动时,输出变小。根据输出幅度这些变化规律,可以判断光束偏离方向和偏离程度,再通过调节系

统把偏离的光束调到正确位置上来。这种循迹误差检测方法简单、实用，缺点是误差输出信号幅度小，抗噪声能力差，并存在与摆动相关的循迹误差。

另一种单光束系统检测循迹误差的方法称为“推挽法”，如图 14 - 12 所示。光电探测器分为两部分，循迹正确时，两部分光电探测器输出信号相等；当光束偏离信迹轨道时，光电探测器两部分输出信号就不相等。为此，只需将两个光电探测器的输出信号进行比较，就可得到循迹误差信号。

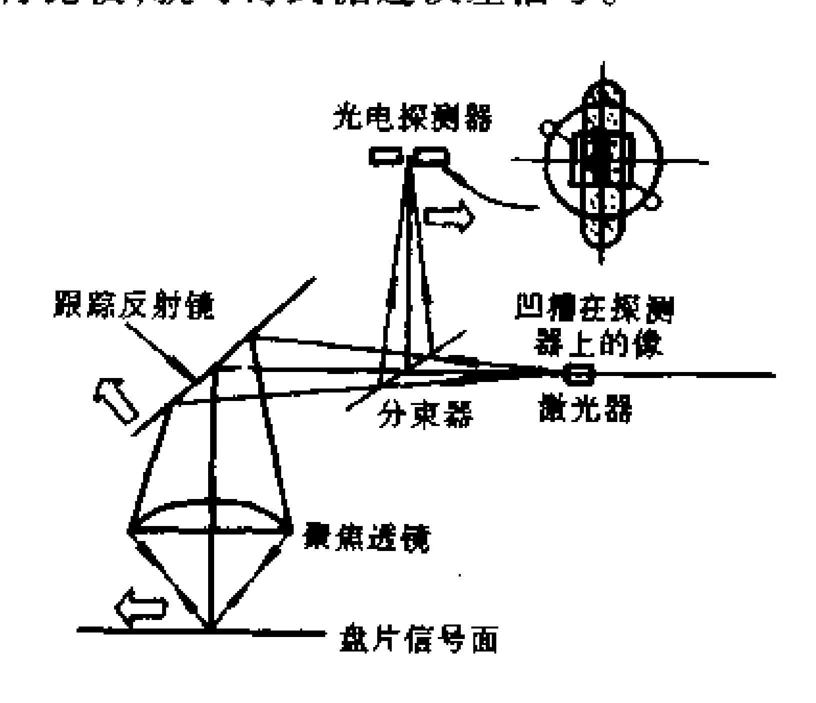


图 14 - 12　推挽法检测循迹误差

(4) 径向跟踪的调节方法

径向跟踪是小范围内对透镜进行平移调节，其原理与聚焦调节相同。利用误差信号经处理放大后去驱动循迹线圈，使装有永久磁铁的透镜产生水平移动，进行径向跟踪的调节，如图 14 - 13 所示。

循迹线圈绕在水平方向的磁芯上，物镜上装有永久磁铁，当循迹线圈中通过调节电流时，线圈产生的磁场与永久磁铁发生相互作用，推动透镜左右移动。当调节电流的方向与大小发生

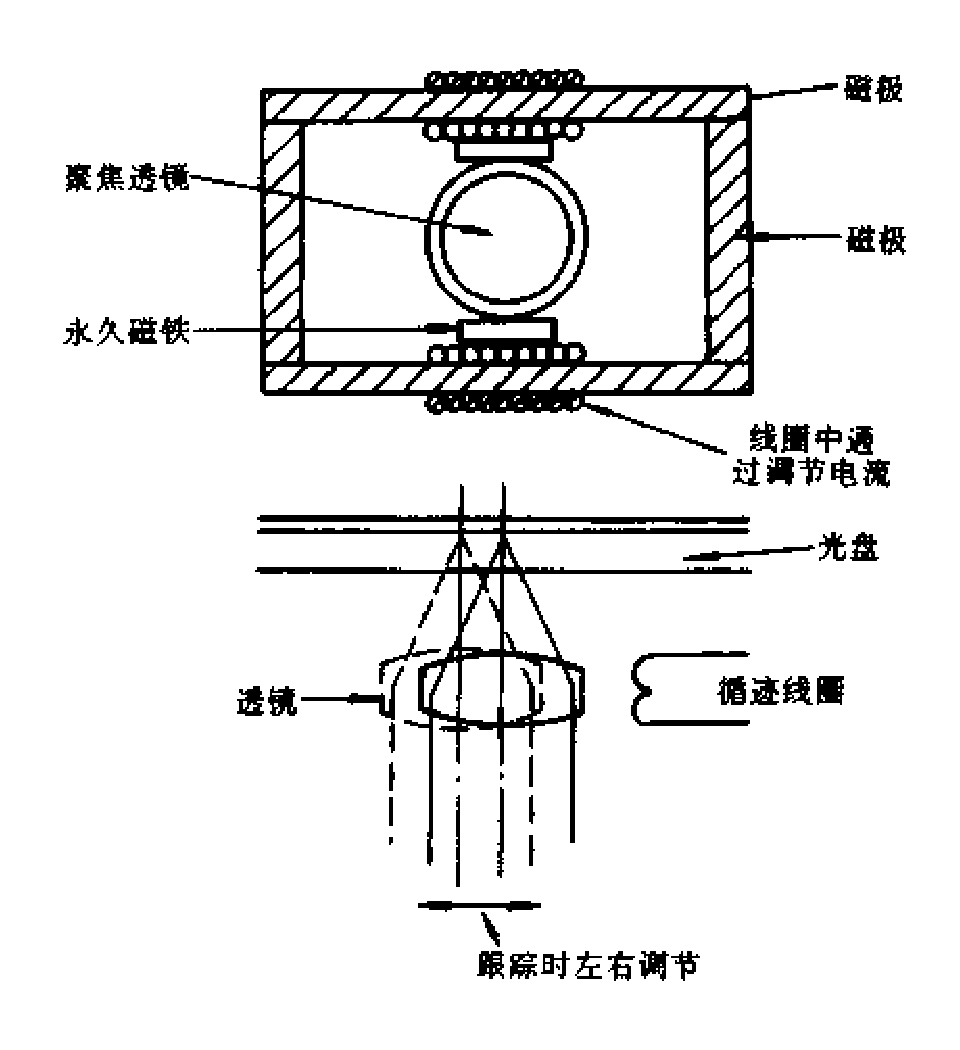


图 14 - 13　径向跟踪调节

变化时,透镜移动的方向与距离也随之做相应的变化,达到了径向跟踪调节的目的。

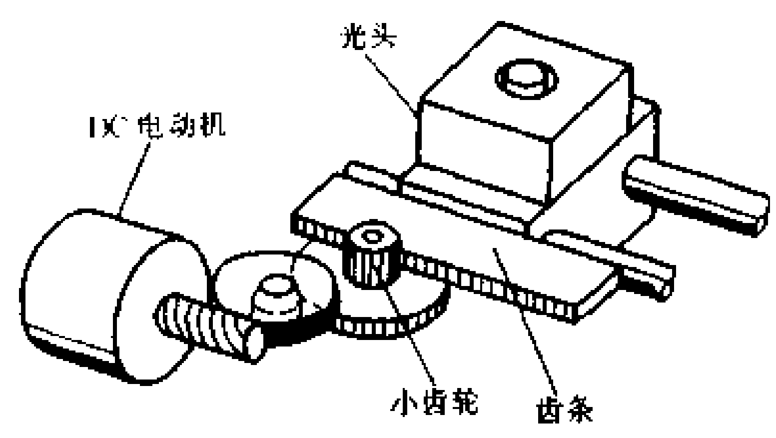
(5) 进给伺服调节

数据检索是光盘机的一项经常性的工作。例如,当需要选择光盘中间某段节目时,就要依靠进给伺服系统,使光头在光盘整个信息面上进行大范围的径向搜索与跟踪。实际上,光盘机进行跳选曲目、快进、快退等功能时,都必须通过进给伺服机构来实现。进给调节是大范围调节,它可将光头移动到相应位置,然后再借助于循迹伺服机构精确地捕捉轨道中心。显然,进给伺服是一种较粗糙的径向跟踪。两个伺服系统配合,可使激光头迅速读取光盘上各位置上的信息。

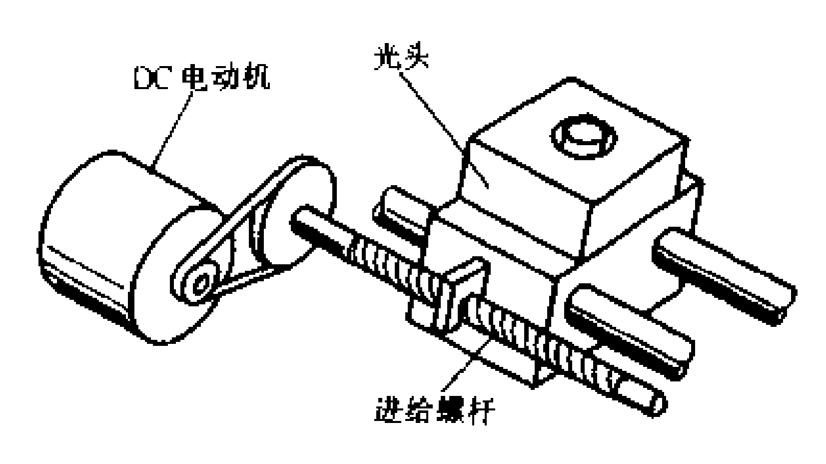
光盘机中三种进给装置示于图 14－14 中。

3. 主轴伺服与时基伺服机构

在读取光盘的信息时，主轴电机驱动光盘高速旋转，光头通过左右移动跟踪螺旋形的信迹轨道。光头与光盘之间相对运动的关系可以分为两种方式：一种方式是光盘转速不变，光头在光盘外圈和内圈拾取信号时，光头与光盘之间的相对速度不同。越是接近外圈，相对速度越快；越是靠近内圈，相对速度越慢，这种方式称为恒角速(CAV)方式，其角速度与电视信号的帧同步，要求主轴电机以恒定的转速运动。另一种方式是光盘转速随着光头位置的改变而变化，当光头靠近光盘外圈时，主轴驱动光盘

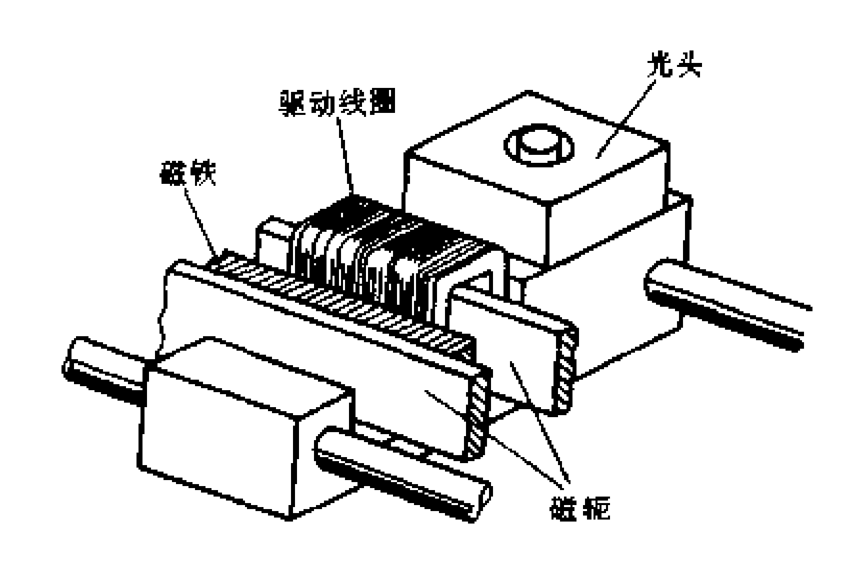


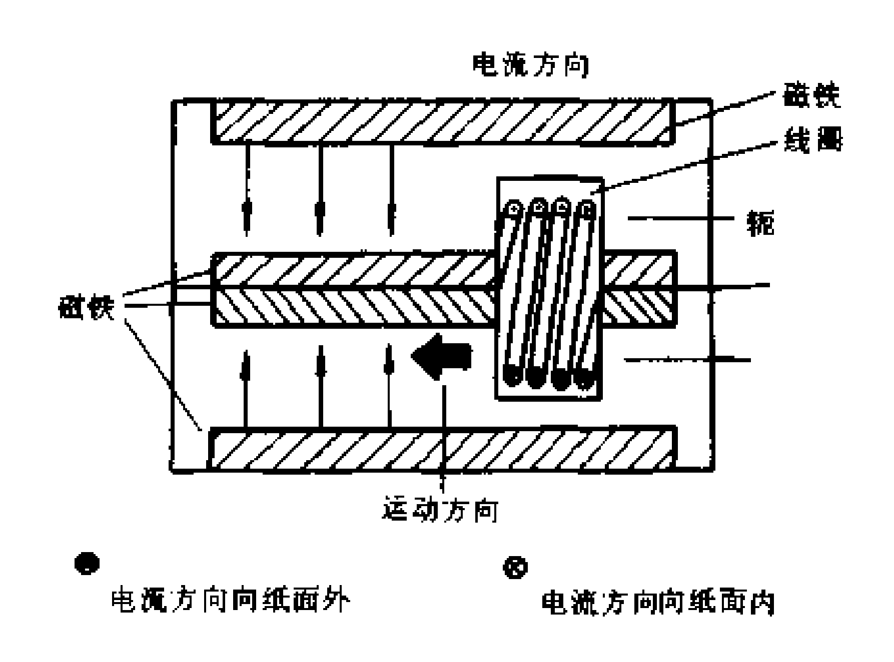
(a)齿条式进给装置



(b)螺旋式进给装置

图 14－14　三种进给装置示意图





(c)线性电机式进给装置

图 14－14　三种进给装置示意图（续）

转得慢些；光头靠近光盘内圈时，光盘转得快些，保证光头与光盘之间的相对运动速度维持恒定，因而其角速度始终处在变化之中，约在 500r/min 到 200r/min 之间变化，这种方式称为恒线速（CLV）方式。

在光盘读取系统中，一般都采用 CLV 控制，要求在播放过

程中主轴电机进行无级变速，因此，主轴电机驱动需进行伺服控制，保证在其播放过程中，按要求进行精确运转。

（1）主轴伺服电路

主轴伺服电路的框图见图14－15。

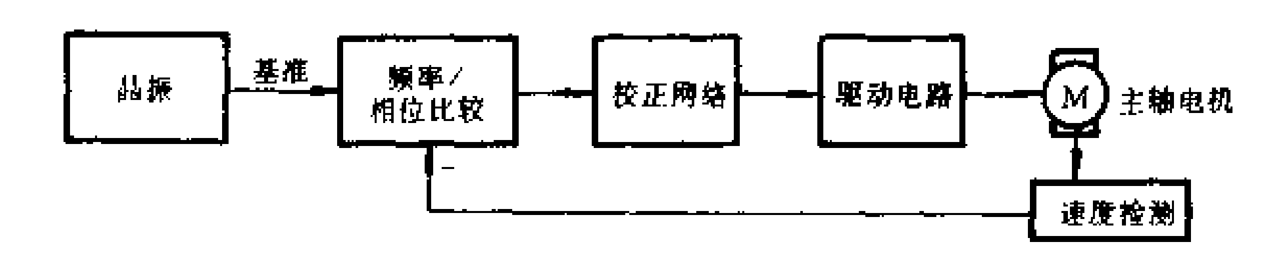


图14－15　主轴伺服电路方框图

主轴是驱动光盘旋转的动力，一般采用无刷电机，利用锁相技术对它的转速进行高精度的控制，以便使主轴的转速和相位与基准值完全相同。

图14－15中伺服电路的控制电压是由晶体振荡器提供的基准信号和主轴电机的速度、相位检测信号二者比较后得到的。当控制回路正常工作时，回路的剩余频差（误差）为零，电机的转速锁定在基准频率上。只要基准频率准确，电机速度就会恒定。

（2）时基(TBC)伺服电路

利用数字信号进行记录的光盘存储系统中，利用锁相/主轴伺服即可实现高精度主轴转速控制。在模拟信号处理系统中，除了主轴伺服外，还要设置TBC电路，以满足电路对时基精度的要求。

模拟方式时基校正是利用电荷耦合器(CCD)来进行的。模拟信号在CCD中的延迟受时钟脉冲频率的控制，时钟的频率与相位的变化会引起通过CCD信号的频率和相位的变化，使信号的频率和相位得到校正。

三、如何在光盘上写入与读出信息

要把信息写入到光盘中去，先要把声音或图像信号变换成为适于存入光盘的形式，然后通过物理或化学的方法将其存储在光盘中。读出的过程正好相反，从光盘中读出的信息，要转换成相应的声音或图像信号，并通过相应的设备放送。

声音或图像的处理方式，分为模拟与数字两大类，其中 LD 为模拟方式，CD、VCD、DVD 等均为数字方式。

1. 模拟式光盘的写入与读出方式

模拟式光盘存储系统的写入和读出过程示于图 14－16。写入时，原始信号经补偿处理后，进入调制电路，图像和伴音信号变成适合光盘记录的形式通过写光头写入光盘。读出时，读光头将信号从光盘中读出，经解调和反处理后，还原成原始信号。

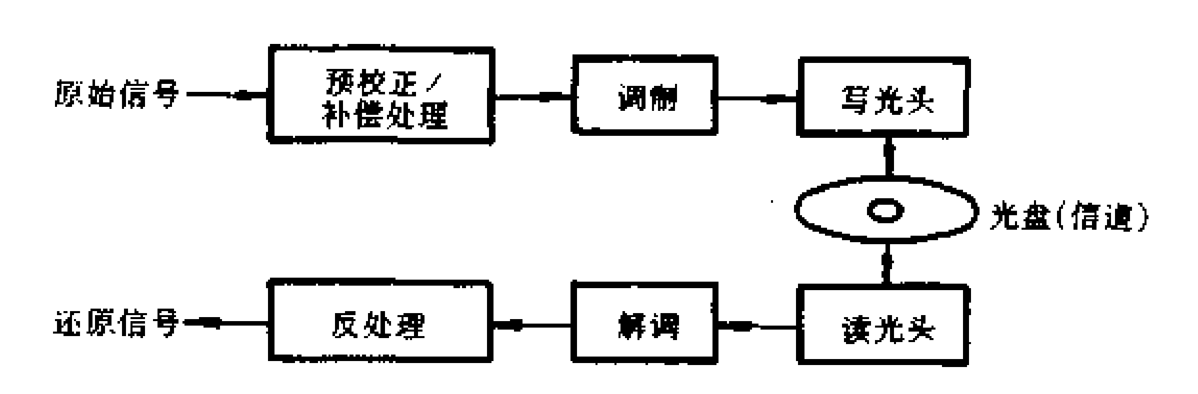


图 14－16　模拟式光盘的写入与读出

（1）LD 信号的调制与解调

LD 中记录的视频图像信号带宽为 0MHz～6MHz，这样宽的频率范围在光盘上用平台与凹槽是无法表示的，只能把视频图像信号先进行调制，即把视频图像信号调制在一个中心频率为 7MHz 的载波上，成为调频信号，该调频信号的带宽为 1MHz～13MHz，频率变化范围为 12MHz。调频后信号的带宽是调制信号的两倍。

视频信号经调频处理后，虽然频率提高了，频带也宽了，但最高与最低频率之比却只有十几倍，这就有条件在光盘上用凹槽的长短来记录，也就是把用时间表示的频率转换成凹槽的长短，实现了对信号的记录。

(2) LD 机在写读信号时的补偿

LD 机对原始的图像、声音信号进行调制以前，要进行必要的预校正和补偿处理。首先要进行信号失落补偿(称为 DOC)，主要补偿信号在录制和重放时因光盘受到污染或划伤造成的信号丢失。其次要进行时基校正电路的补偿，使时基电路工作准确。此外，还要对信号进行预加重处理，也就是把振幅变化较小的高频成分提升，以便在调制时不致频偏过小。在重放时还要进行去加重，以恢复原始信号的本来面目。

2. 数字式光盘写入与读出信息的方式

数字式光盘(CD、VCD、DVD 等)存储信息的方式与模拟式光盘系统不同，它首先把模拟方式的图像或声音信号通过信号源编码变成数字信号，再通过信道编码，把数字信号变成适合于在光盘上存储的形式，如图 14－17 所示。

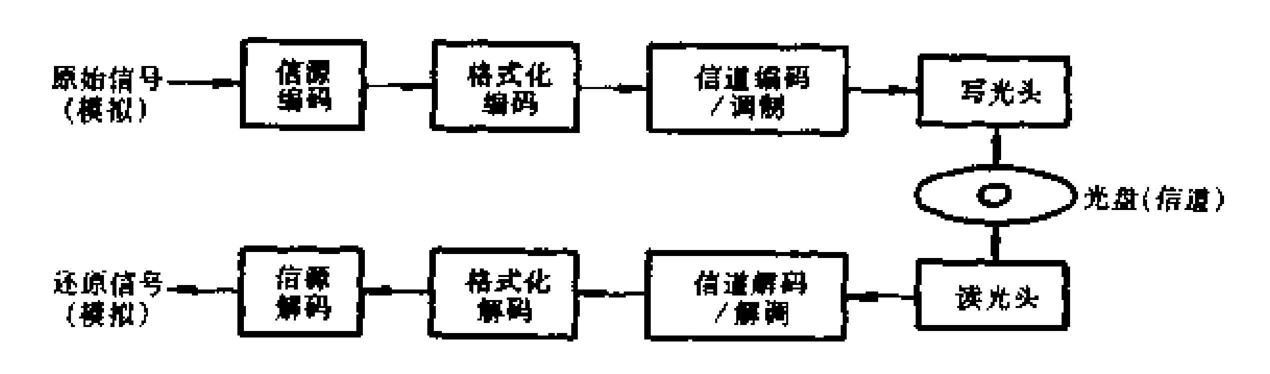


图 14－17　数字式光盘存储系统写/读过程

(1) 信源编码

我们所使用的信号源一般都是模拟信号，需要把它变成数字信号才能储存在光盘上。为此，可以利用一个时间间隔相等

的采样频率，把模拟信号变成不连续的模拟量。这很像拍电影，把人的连续动作拍成胶片后，每一张胶片都是断续的，省略掉中间的一些过程。把断续的模拟量再经过模/数转换，就得到数字信号。

为了减小失真，采样频率要高，变成数字信号以后的数码位数也要增加，这就造成了数据量的增加。为了减小数据量以及在光盘上存储更多的内容，需对数据进行压缩编码。

压缩编码的方法有两种，一种是把信号中的无用部分去掉；另一种是利用人的听觉、视觉上的特点，去掉一些重放时不会被人察觉的信息。

（2）信道编码

数字化的信号不能直接存入光盘，还需要对它进行信道编码，以适应光盘存储的需要。

在制作光盘时，可能会因为随机性的误码或数码丢失，或因光盘上的灰尘与划痕造成的突发性误差，使得光盘重放时信噪比变坏，甚至不能使用，为此需要对数字信号进行纠错。

对数字信号采用的纠错技术称为信道编码；光盘机重放光盘上的信息时，要经过信道解码。

（3）信道的调制与解调

经过信道编码纠错的信号，在记录到光盘上之前，还要进行调制，称之为 EFM 调制，也就是将 8 位数据变成 14 位数据的调制过程。在信源编码中，二进制的数字量都是由 8 位二进制数组成一个字节，在 EFM 调制中，把 8 位二进制数变为 14 位二进制码必须遵守以下规则：在两个数码 1 之间，最少要有两个数码 0，不能出现连续两个 1 的情况，但最多不能超过 10 个数码 0。这是因为在光盘上凹槽的底面与平台均表示为 0，而凹槽的上沿或下沿表示为 1。例如，CD 光盘每个通道位的长度约占

0.3μm,那么盘面的凹槽及凸面的长度可以在0.9μm到3.3μm之间变化。经过上述处理的光盘,信号的频带变窄了,直流成分也减少了,凹槽和凸面的长度都大于轨迹的宽度,能够保证光盘表面轨迹的连续性。数码1可有规则地出现,其间隔不超过10个数码0,可保证解码电路稳定地工作,提高伺服误差信号的信噪比。

在编码时进行EFM处理,在解码时就需进行EFM逆处理,即把14位的EFM调制码转换成标准的8位二进制码,以便对其进行数/模转换,重新恢复原来的图像或声音信号。

(4) 信道的格式化编码与解码

光盘上的信息都是以一定的格式存放的,这是为了统一标准。各个生产厂家遵循统一标准来设计制造光盘与光盘机,以使同一类光盘在不同型号的光盘机上均可正常使用。

光盘存储信息的格式可以分为两个不同的层次,即物理格式与逻辑格式。

物理格式是指:光盘的外形尺寸(内径、外径、厚度、单面或双面记录等);扫描方式(CAV或CLV);光盘中关于区的划分(导入区、节目区和导出区);信迹与信道;帧的结构等。

逻辑格式主要指存储信息的管理和标准,目的是为数据的寻址(也就是怎样寻找光盘上各种信息的地址)。

四、光盘机的整机控制

光盘机存储系统包括了光学系统、电气线路与精密机械等几大部分构成的互相关联的一个完整体系,除了能进行数据的读取外,还能根据用户的要求,完成搜索节目、快进、快退、静止等功能,整个光盘机是在安置其内部的微处理器的控制下协调工作的,即:执行操作指令、执行整机的自动控制、自动检测和自

动保护，以及各种工作的自动显示指示等功能。整机控制系统的框图见图 14－18。

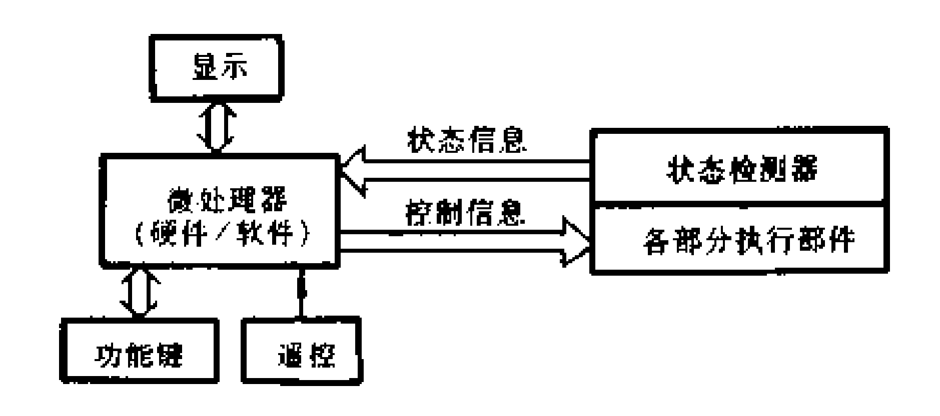


图 14－18　整机控制系统框图

微处理器接收到用户用按键发布的指令后，首先对光盘机各部分进行检测，然后执行指令，完成相关动作。在执行过程中不断地检测各种状态的信息，使各部分机构协调工作，实现用户的操作要求。

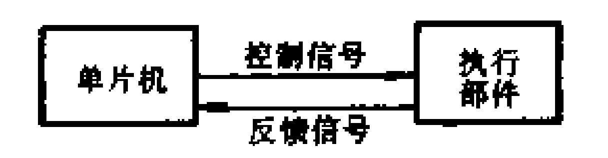
微处理器是光盘机的指挥中心，主要由硬件及软件两大部分组成。硬件包括中央处理器（CPU）、存储器（RAM 或 ROM）、输入/输出接口等几部分，它们集成在一块芯片中。控制软件固化于 ROM 之中，使用时只能从 ROM 中调出使用而无法修改，断电后也不会丢失。而 RAM 可以把操作命令暂时存储下来以便调用，断电后 RAM 中的内容即行丢失。

光盘机控制系统中的微处理器与各部分之间的联系有两个通道，即控制指令通道和反馈状态信息通道。

微处理器对各部分的控制方式可分为直接控制与间接控制，如图 14－19 所示。

五、光盘机的机械系统

光盘机是集机、光、电为一体的精密的电子设备。在播放前



(a)直接控制方式

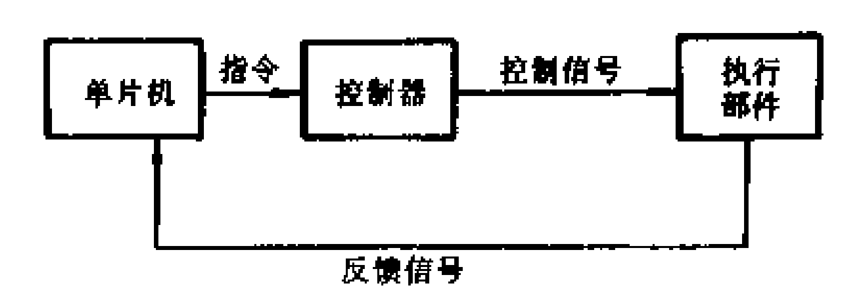


图 14－19 微处理器控制方式

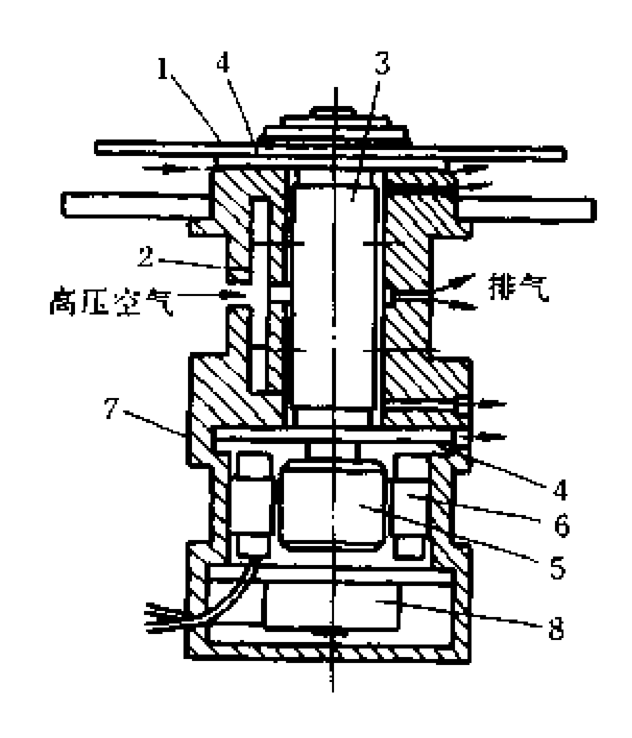
需要经过传动机械自动完成光盘的装入和定位，在播放时要求光盘稳定地旋转，激光头能准确地在光盘信息面进行聚焦、循迹，上轴电机精确地实现 CLV 播放。这些工作，不仅需要优良的电路系统，还需要优良的机械系统。

光盘机中的机械系统按功能划分可分为五个机构，即：光盘装载机构、光盘旋转机构、光头升降机构、伺服调节机构和阻尼机构等。下面对光盘旋转机构和光盘装载机构重点进行介绍。

1. 光盘旋转机构

光盘的旋转机构又称为转盘机构或转盘平台。光盘装载在旋转平台上，由光盘旋转机构平稳、高速地带动光盘旋转。光盘旋转机构是由空气轴承、直流驱动电机、夹盘器、光学编码器等组成，如图 14－20 所示。

光盘旋转机构采用空气轴承是因为光盘的主轴驱动与驱动电机为直接驱动，光盘与主轴接近，若采用润滑油方式对轴承润滑，在高速旋转时润滑油会飞溅，严重污染光盘与光头，造成光盘信息无法读出。此外空气的粘滞力比油要小，摩擦阻力也小，



1.光盘，2.高压穿气通道，
3.圆柱轴承，4.止推轴承，
5.转子，4.定子，7.外罩，
6.编码器

图 14－20　光盘旋转机构

适用于光盘的主轴。

直流驱动电机采用无刷电机，它具有直流电动机的高速性能，同时又具有同步电动机稳速高精度的特点。

夹盘器的作用是平衡地夹住盘片，使盘片在高速旋转中不丢转、不抖动，保证盘片中心与主轴中心完全重合。

光学编码器是主转转速的传感器，置于直流电动机内部，将转速的反馈信号送到转速控制电路中。

2. 光盘的装载机构

光盘装载机构又称为加载机构、托载机构。它的功能是加载电机通过传动机构自动驱动光盘托盘弹出和装入。加载电机的旋转受系统控制电路的控制，按动开仓/关仓(OPEN)键时，由微处理器输出控制指令，使加载电机旋转，通过传动机构由盒仓内推出托盘；当人工装入光盘后，再次按动按键，微处理器使加载电机反向旋转，光盘缩回托盘座仓内。托盘驱动机构如图14－21所示。

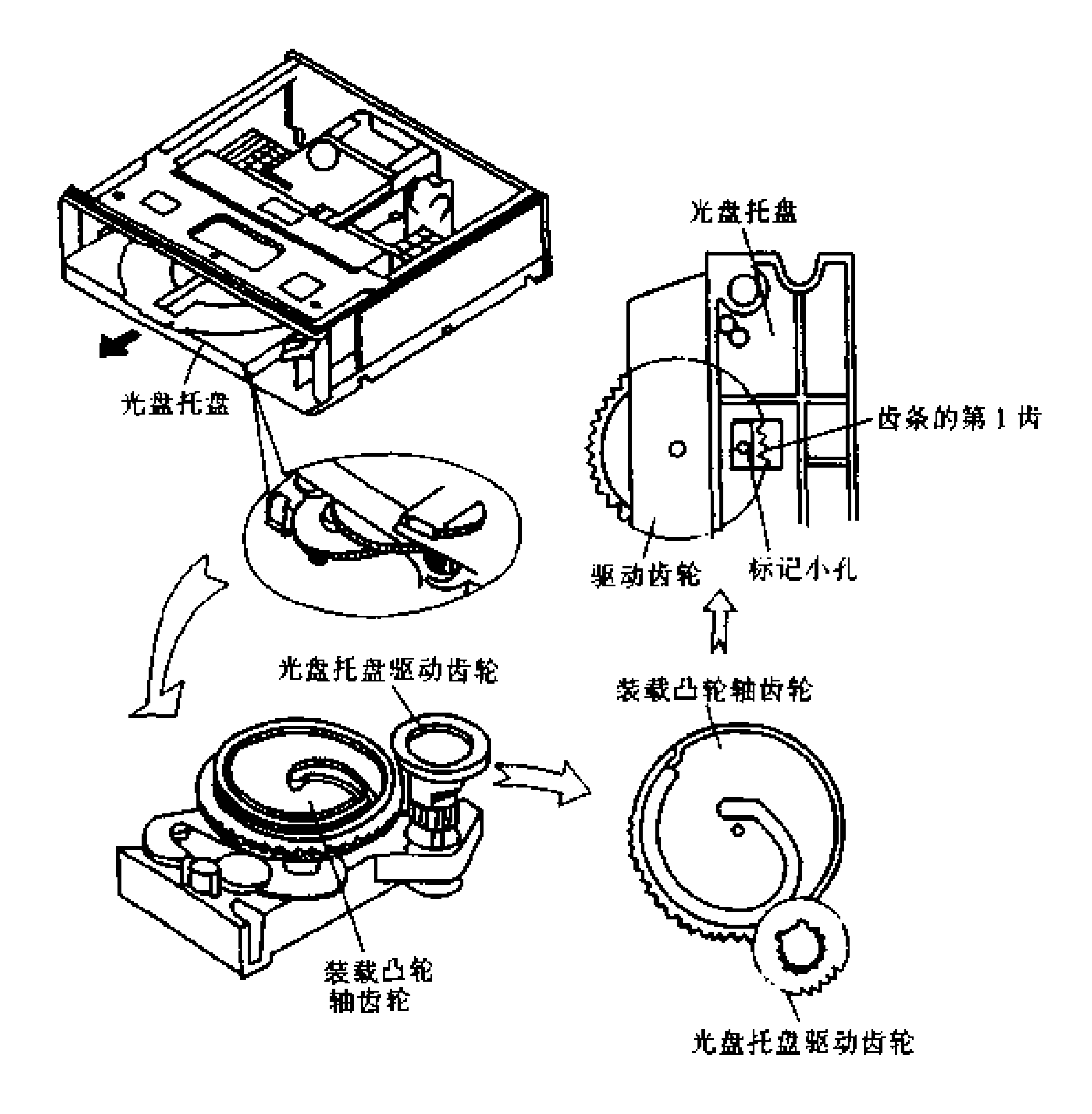


图 14－21　装载机构的组成

第三节　CD激光唱机的组成及工作原理

激光唱机是利用激光拾取光盘上的信号的数字式唱机，又称为CD唱机(COMPOCT DISC)。由于它是数字音频设备，又称之为CD-DA。目前，它已成为高保真音响系统和各种音响设备的主要音源。

CD唱机采用了数字技术，又靠激光拾取信号，所以在音频信号重放时可以保证声音频带宽，信噪比高，动态范围宽，失真小。唱片永不磨损，体积小，存储信息容量大。为了使初学者能够了解CD机中使用的数字技术，本节先介绍有关数字化音频的基本知识。

一、数字化音频的基本知识

1. 模拟信号怎样转化为数字信号

(1) 模拟信号的特点

模拟信号的特点是电压或电流在时间上是连续的。例如，话筒把声音转化成电信号，信号电压的大小表示着音量的高低，信号电压的频率表示着音调的高低。所以，模拟信号很形象地反映着声音变化的特征。但是，模拟信号的精度较低，在受到外界干扰时会改变信号的波形，在重放时造成失真。

(2) 数字信号的特点

数字信号在时间上、空间上都是断续的、离散的信号，常称之为脉冲信号。数字信号一般用二进制数表示，因为二进制数只有0和1两个数码，所以用多位二进制数就可以组合成各种复杂的信息。它有两种表示方法：一种为脉冲型数字信号，有脉冲时表示为1，无脉冲时表示为0；另一种是电平型数字信号，高电平代表1，低电平代表0。

数字信号的抗干扰能力很强，可靠性很高，即使有干扰，只要能区分出信号电平的高低，就可以正确地表示0和1的个数，不会使信号有明显的失真。数字信号的另一个特点是便于存储，用半导体存储器可以很方便地存储数字信号。

(3) 采样原理

所谓“采样”，是将连续变化的模拟量按一定的时间间隔 T_s

(称为采样周期)取得脉冲信号,也就是把连续的波形离散化,如图 14-22 所示。此时所获得的脉冲称为脉冲幅度调制信号(PAM 信号)。

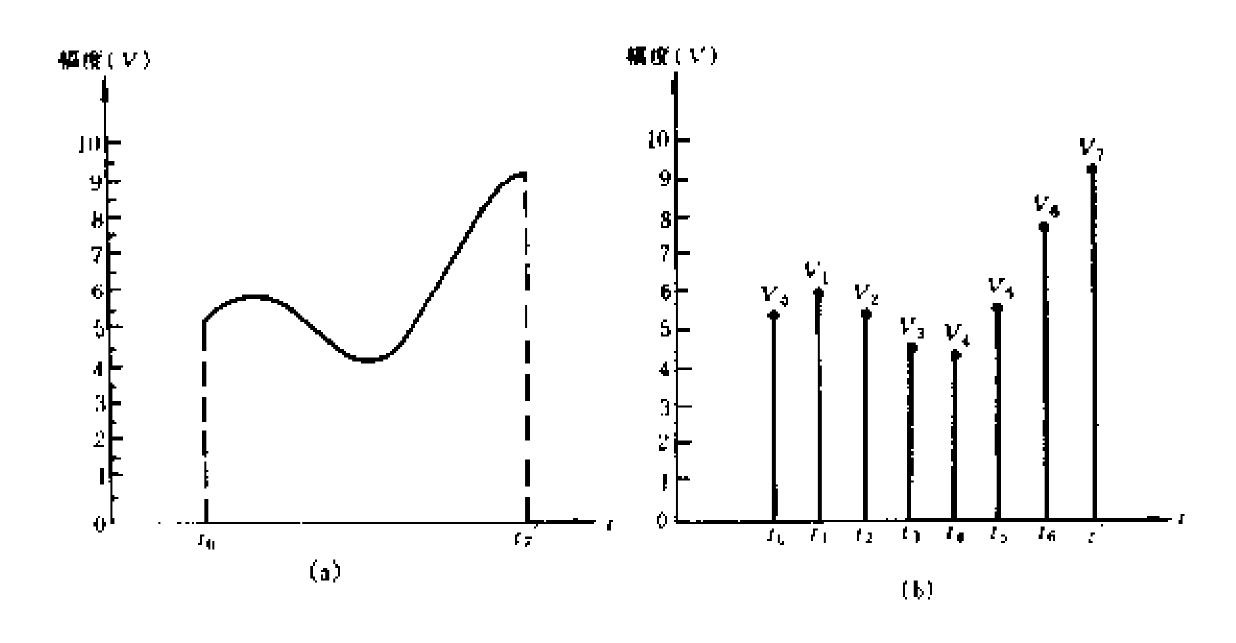


图 14-22 将连续波形进行脉冲采样

图 14-22 中 $t_0 \sim t_7$ 时间内划分了 7 个时间间隔,到底分多少比较合适呢? 根据采样原理,采样信号的采样频率 f_s($f_s = \frac{1}{T_S}$)应为该模拟信号上限频率的两倍以上,才能保证解码重放声音信号时,全部音频信号得到不失真的复原。在 CD 系统中,采样频率为 44.1kHz,一般声音频率 20Hz~20000Hz,所以采样频率大于声音最高频率 20kHz 两倍以上,符合要求。

若采样频率 f_s 过低,在重放时就会出现失真。我们以放映电影为例,一般情况下,电影中运动物体的速度不太快时,人眼是看不出失真的,但在放映汽车轮子或火车轮子的快速转动时,我们将会看到轮子都在倒转,出现了明显的失真。这是由于电影胶片拍摄速度是每秒钟 24 幅,当火车车轮快速转动时,相当于采样频率低于模拟信号的上限频率,从而产生了明显的

失真。

(4) 脉冲幅度调制信号的量化

连续变化的模拟信号经采样变为不连续的脉冲幅度调制信号以后,这些脉冲在电压的量值上可能有无限多个数值,需要用有限多的数值进行分级取整,如图 14-23 所示。这种将采样信号的电平(幅度)分级取整的过程,称为"量化"。

在图 14-23 中,原来的模拟信号在 t_0 ~ t_7 时间内,信号幅度的变化范围在 4V ~ 10V 之间。把 4V ~ 10V 之间按 0.5V 为一级,把实际所测的电压值四舍五入,就得到了 4.0V、4.5V、5.0V、5.5V、6.0V、6.5V……一直到 10.0V,一共 13 个等级中的电压数值,这就是采样脉冲的量化过程。

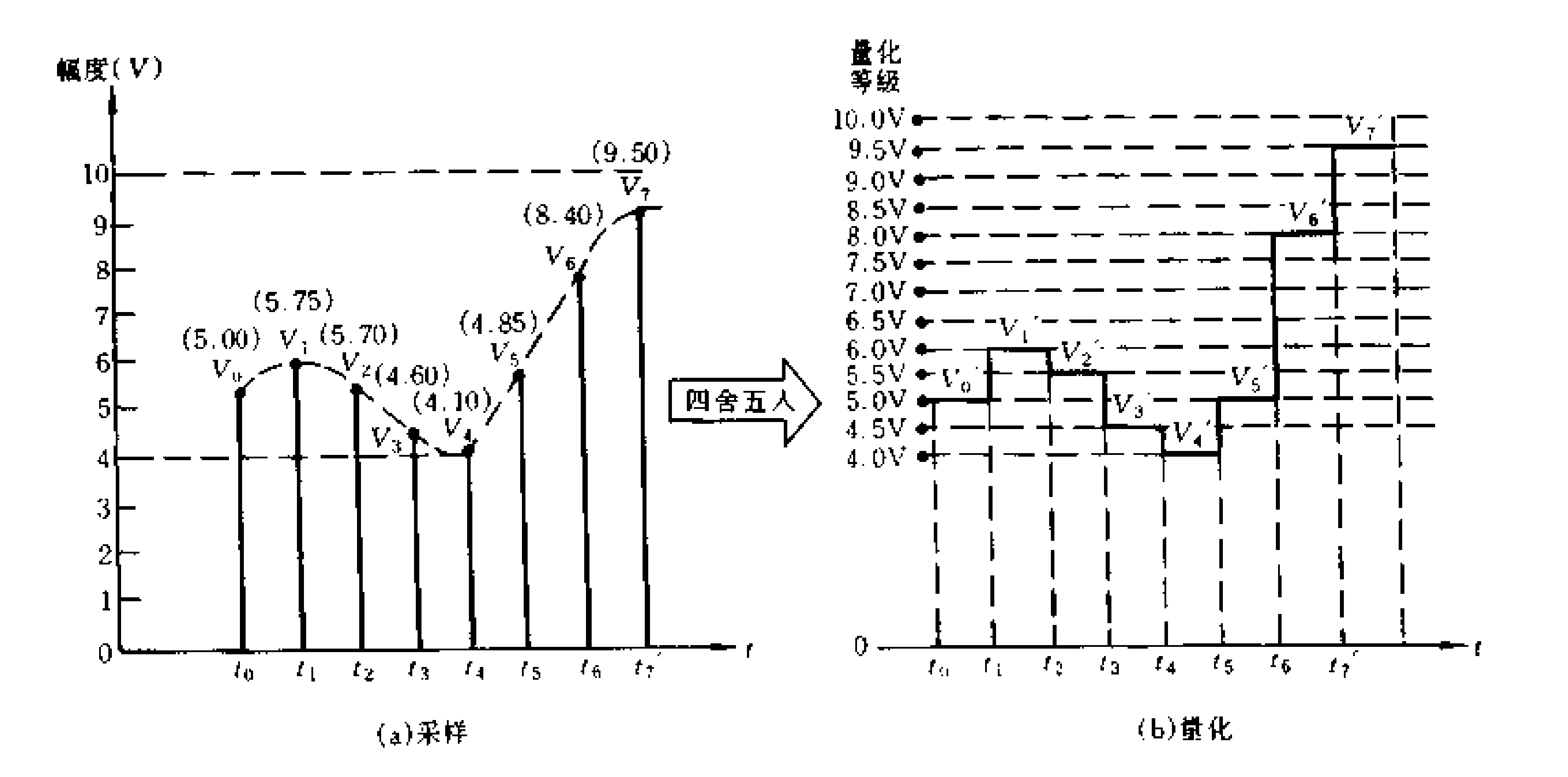
量化时所取级数越多,分得越细,量化的精度就越高,在重放时所恢复的模拟信号失真越小。若所取的级数为 N,为了便于数字处理,通常用 $N=2^n$ 来表示,其中 n 称为量化位数,或称为量化比特数(用 bit 为单位)。例如,CD 唱机的取样频率 $f_s=44.1$kHz,量化比特数 $n=16$。根据数字音频信号理论,可以计算每秒钟所传送、处理数码的数目,并称之为码率(也叫信道比特率),而且码率 $R=mnf_s$。其中 m 是传送通道数,这里 $m=2$,代入上式后,得

$$R=2\times16\times44.1\times10^3=1.4112\text{Mb/s}$$

对于其中每一个声道,码率为上述值的一半,即每秒钟传送 705.6kbit 位数码。

(5) 编码

经过量化处理的脉冲信号,其脉冲幅度均为整数电平值,这种脉冲信号仍不是数码信号,而是 PAM 信号。为此,还要对各脉冲信号的各级整数电平值用二进制数码"0"、"1"或高、低电平的数目来表示,称为编码。



(a)采样

(b)量化

图 14-23 采样脉冲的量化

二进制编码有多种方式，我们只介绍二进制数码的“字”和“位”。一般每 8 个二进制码为一组，称为一个“字节”或一个“字”，组成一个字节的 8 位二进制数中的每一个二进制数码称为“位”，每一个位都有名称，如图 14－24 所示。这个字的最左边是最高位（MSB），最右侧是最低位（LSB），具体到每一位当中的 0 和 1，要根据模拟信号在某个采样点量化后的具体值而定。例如，在图 14－23(b)中，有 8 个量化值，分别用 8 个 8 位二进制数码表示，就可以得到一连串的二进制数码。

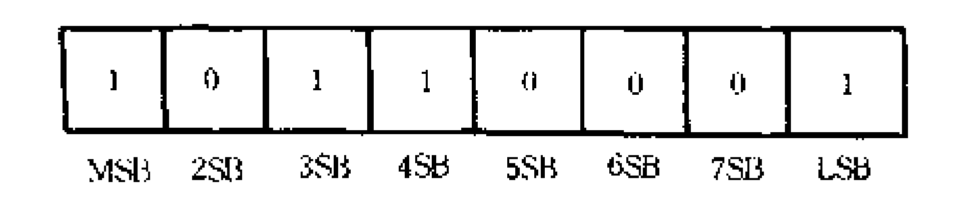


图 14－24　字与位

以这种方法把连续的模拟信号转化成了一连串的用高、低电平表示的脉冲串，这个脉冲序列的形成过程称为脉冲编码（PCM 编码）。

(6) 模拟信号转换数字信号过程中的失真

前面曾经指出，采样频率 f_s 必须高于模拟信号上限频率的 2 倍以上，如果达不到这一要求，就会因丢失一部分高频成分而产生失真，称为折叠失真。

把采样后的脉冲信号变为数字信号的过程中，每个采样点都存在将原模拟信号电压值进行四舍五入而带来的误差，由此而造成的失真称为量化噪声或量化失真。

在 CD 机中采用了 16 位二进制数码的量化方式，信噪比达到了 98dB，可满足高保真音响的要求。

(7) 模/数变换器

将模拟信号变换成数字信号使用着各种各样的模/数变换

器(Analogue-Digital Comverter),一般简写为ADC或A/D变换器。

在音频数字系统中,常采用逐次比较型A/D变换器,它的基本原理是把模拟电压与反馈电压多次比较,使量化后的数字信号逐次逼近模拟信号。

图14-25是逐次比较型A/D变换器示意图。变换器的工作过程为:当启动脉冲到来时,移位寄存器的最高位自动置成"1",其余各位置成"0",输出位成为10000…000,数/模变换器(D/A变换器)把这个数字量转换成模拟电压,作为反馈电压V_f,这个V_f与1000…000这个数字量相等,同时这个V_f等于1/2 V_R(V_R是移位寄存器输出全部为"1"时,与之相对应的模拟电压)。输入的模拟信号V_i首先与这个1/2 V_R相比较,当$V_i \geq 1/2 V_R$时,寄存器最高位的"1"保留;若$V_i < 1/2 V_R$时,则把移位寄存器的最高位置成"0",然后节拍发生器的第二个节拍把移位寄存器的第二位置成"1",其余仍是"0",D/A变换器把这个新的数字量转换成新的V_f,再与输入信号V_i比较,若此时$V_i > V_f$,则表示输入的模拟信号小于1/2 V_R而大于1/4 V_R,此时移位寄存器第二位的"1"保留,再把寄存器的第三位继续置"1",继续进行比较。用这种方法逐次比较,使寄存器输出的值逐渐接近于输入模拟信号的值。比较完所有位后,每一位中的数码是"0"还是"1"也就确定了。

逐次比较型A/D变换器具有变换速度快、精度高的特点,精度可达0.005%。误差主要是由A/D变换器、比较器和参考电压等引起的。

2. 数字信号如何转化成模拟信号

上述模拟信号转换成数字信号后,在对光盘刻蚀、记录之前,需对信号进行一系列处理,以提高记录密度,尽量减少信号的低频分量并排除干扰。从光盘上读出信号后,首先要恢复成

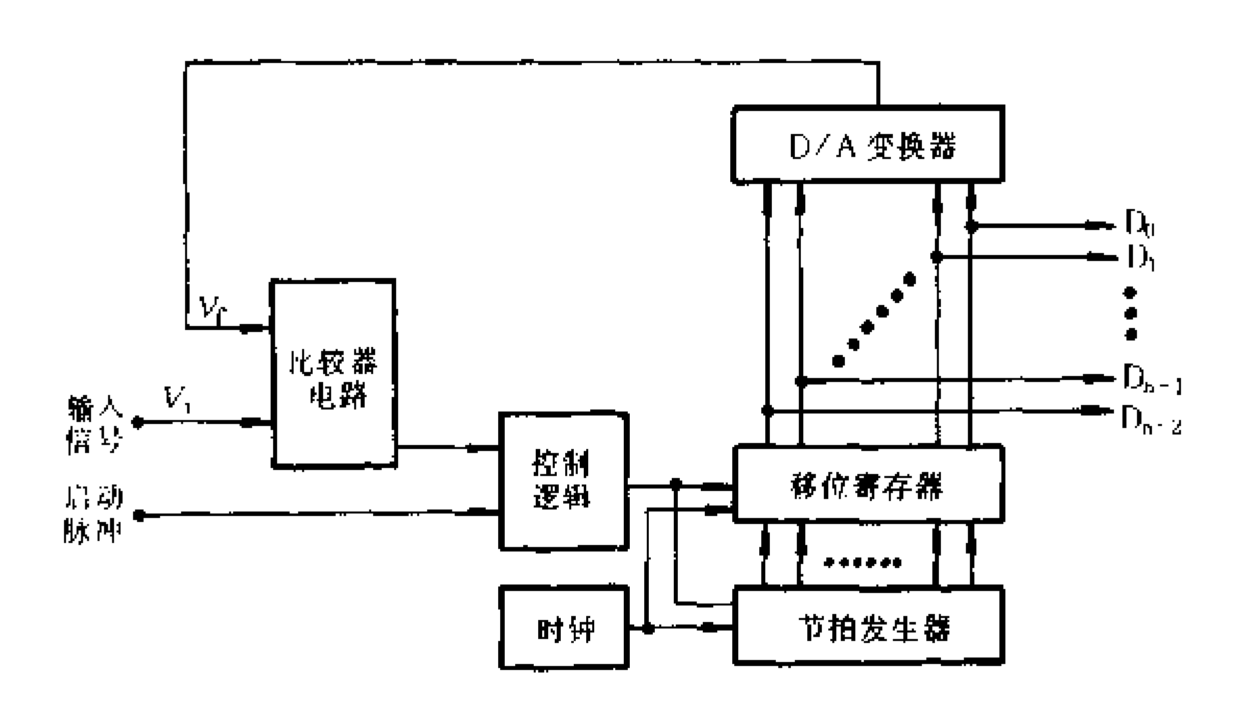


图 14-25　逐次比较型 A/D 变换器

二进制信号，然后经数/模变换，才能变成与原始信号相同的模拟信号。

(1) 为什么要把数字信号转化为模拟信号

目前，广泛使用的音响设备和彩色电视机都属于模拟信号处理方式，全数字式的音频视频设备还远远不能形成商品化产品，因此，现今使用的光盘机，都要把数字化信号转化成模拟信号，再提供给音频、视频设备放送。

(2) 数/模变换原理

数/模变换又称为 D/A 或 DAC 变换，是 A/D 的逆变换。它的作用是把用高、低电平表示的由 1 和 0 组成的脉冲串变成阶梯形的量化波形的信号，再经低通滤波器(LPF)把阶梯形量化波形的信号变为匀滑的连续的模拟信号，即还原出原始的信号波形，达到重放的目的。图 14-26 是数/模转换原理框图。

由图可见，二进制数字音频信号首先进入数字滤波器去掉干扰信号，然后进入数/模变换器(D/A)中，得到量化模拟量(阶

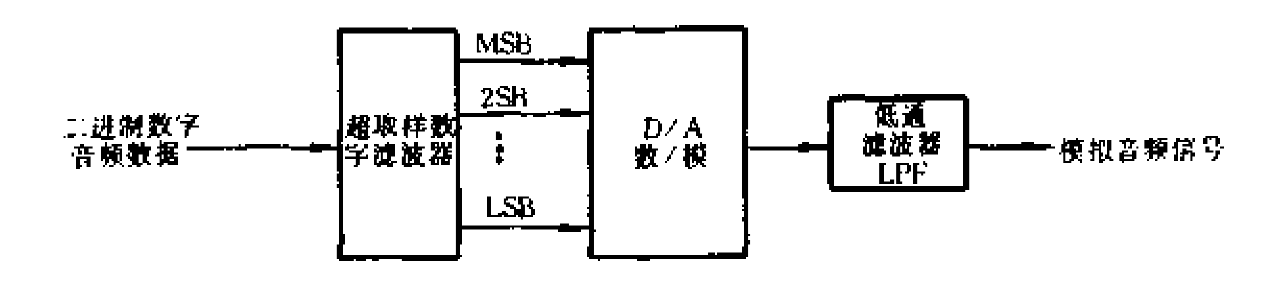


图 14-26　数/模转换原理框图

梯形)，再经低通滤波器平滑后，得到原来的模拟信号。

(3) 数/模变换器电路

为了说明数/模变换原理，下面介绍一种常用的"权"电阻式 D/A 变换器，如图 14-27 所示。

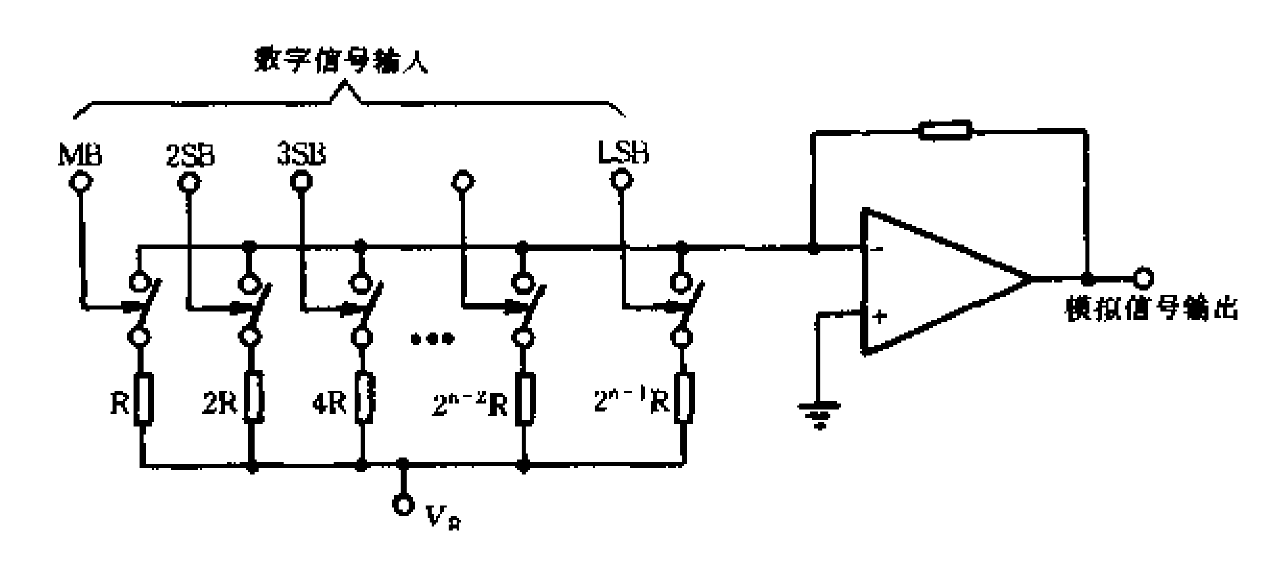


图 14-27　D/A 变换器原理图

从高位 MB 到低位 LSB 各位二进制数均对应一个开关，开关上串接的电阻决定了各位相应的电压，这些电压都是由基准电压配合各位电阻 R、2R、4R……2^{n-2}R、2^{n-1}R 得到。当某一位的二进制数为"1"时，与这位相对应的开关即闭合，把相应电压接入，当某位二进制数为"0"时，与之相连的开关不闭合。当高位二进制数为"1"时，所表示的数值大，相应的开关闭合后，所串接的电阻值较小，电压降也小，所以输出电压高；当低位二进制数为"1"时，相连的开关闭合，所接电阻值较大，电压降也大，输

出电压就低；当二进制数中有多个“1”时，相连的多个开关均闭合，所连电阻都并联在一起，输出电压与这个二进制数相对应。

D/A 变换器还有许多种，基本原理大体相同，都是由二进制数得到相对应的模拟信号，本书不作介绍。

(4) 滤波器的作用

由 D/A 变换器得到的是量化的模拟信号，它们是阶梯式的不连续的电脉冲。为了得到与原始信号基本相同的模拟信号，还要把这些量化的模拟信号进行滤波处理，以获得匀滑的、连续的模拟量。

按照所接入的信号特性来区分，可分为模拟滤波器与数字滤波器两类。模拟滤波器是针对模拟信号而设计的，它多用于 A/D 转换之前和 D/A 转换之后。用在 A/D 变换之前是为了滤掉模拟信号中的高频成分，防止由于采样频率不够高而产生的失真；用于 D/A 变换之后是从量化模拟信号中取出原始的模拟信号，使信号均匀、光滑。数字滤波器用于处理数字信号。

无论是模拟还是数字滤波器，它们的基本功能都是衰减信号中的某些频率成分，保留另一部分频率成分。根据用途又可分为低通滤波器(LPF)、高通滤波器(HPF)和带通滤波器(BPF)。

二、CD 机的工作原理

1982 年日本索尼公司与荷兰飞利浦公司首先联合制订了 CD 机的标准，在这个基础上，于 1987 年制定了国际标准(ISO/IEC908)。CD 标准中主要规定了采样频率为 44.1kHz，量化等级为 16bit(16 位二进制码)。

1. CD 机对信号的记录

目前使用的 CD 机是 CD 光盘的播放设备，只能放送不能录制，节目的录制是在制造厂中进行的。图 14－28 中简单地描述

了声音信号的记录过程。

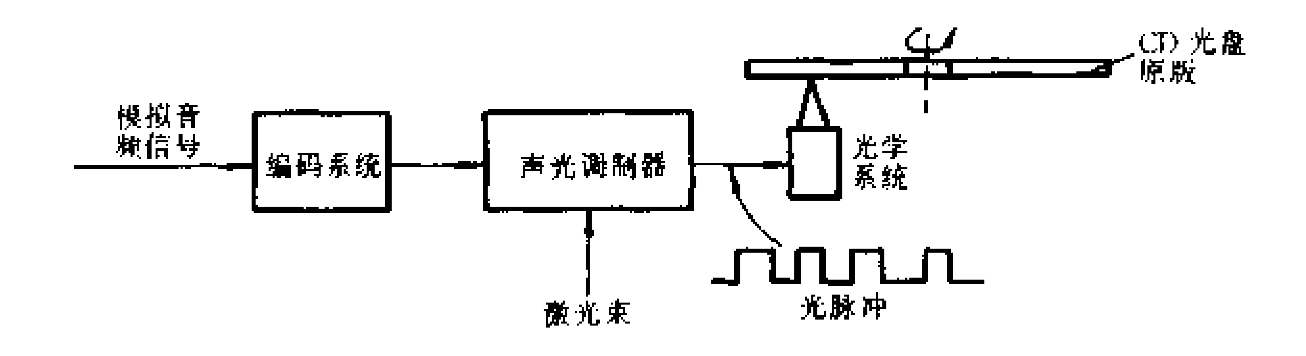


图 14－28　CD 信号的记录过程

模拟音频信号经过采样、量化及 A/D 转换后，变成一连串的高、低电平脉冲，经交织、交叉处理后，进行 8 位变 14 位的变换，成为适合于光盘记录的形式。在声光调制器中，把高、低电平的变化变成了激光束强弱的变化，经调制后的激光束射向涂有感光胶的玻璃母盘上，因为激光束有强弱变化，受强光照射处曝光，弱光照射处感光胶不感光，这样经过定影处理后，感光处不保留感光胶，未曝光处则保留感光胶．再经腐蚀，就得到了一连串凹槽的信迹，称为阴盘。用此盘通过铸铝方式得到一张阳盘，在阳盘上有一连串凸起的信迹，利用阳盘就可以大量地压制生产出我们使用的光盘。

(1) CD 对信号的编码方式

信号在记录的过程中，对信号的处理主要是在编码系统中进行的。编码包括信源编码和信道编码。信源编码就是进行信号的模/数转换，在其中，要进行信号的采样、量化和数字编码过程，即 PCM 编码，由此取得了数字化的音频信号。信道编码主要是解决对数字信号进行抗干扰处理问题。在存储数字信号时，可能会受到噪声干扰使数码产生错误，造成重放时误动作或信号丢失，因而要进一步进行抗干扰编码(即纠错编码)。然后进行 8 位变 14 位的调制(简称 EFM 调制)。编码过程示于图14－29。

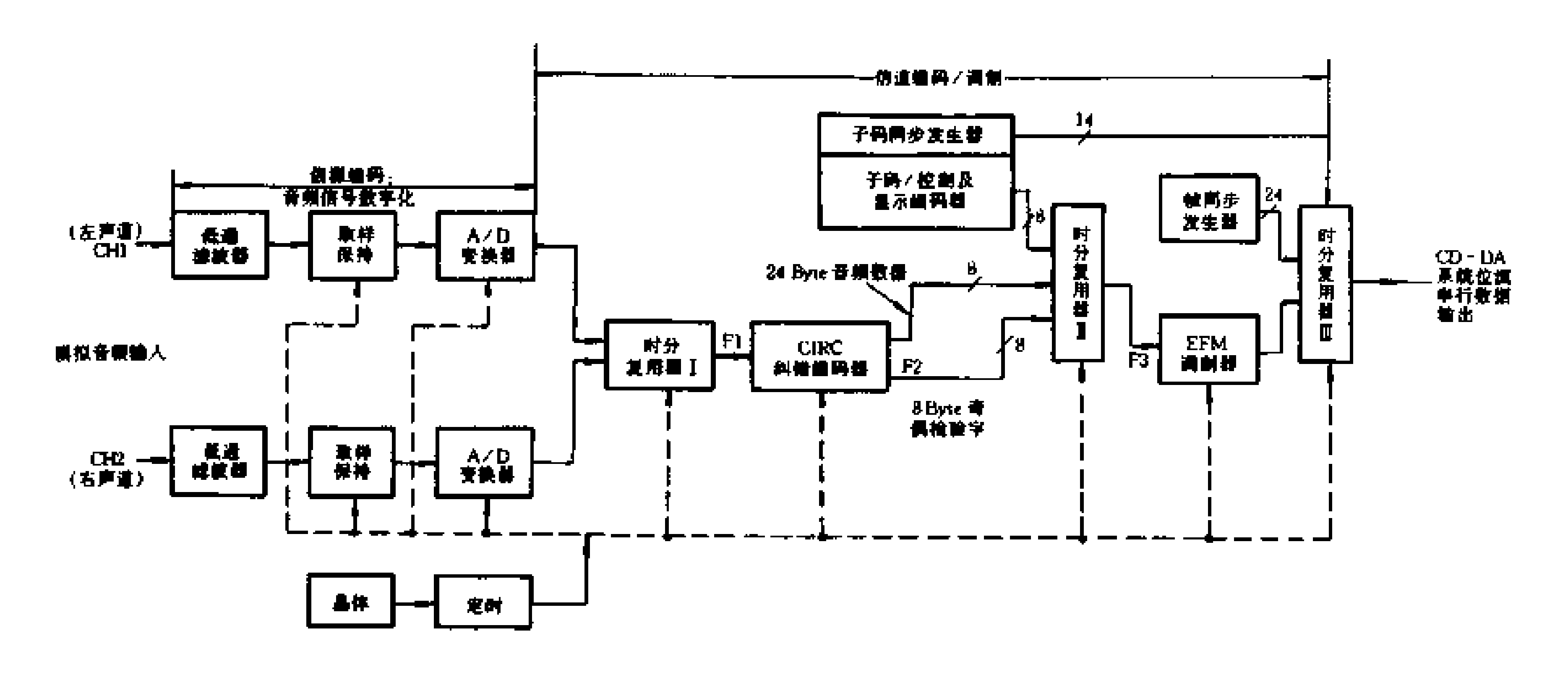


图 14-29 信源与信道编码过程

(2) 低通滤波器的作用

模拟信号进行 A/D 转换之前，通过低通滤波器把高于 20kHz 的信号滤掉，以避免出现采样时的失真。

(3) 采样/保持电路

模拟信号给采样电路采样后，为了使 A/D 变换电路有足够的时间进行转换，采样、量化后的模拟电压值要保持一小段时间。

(4) A/D 变换电路

在 CD 中把模拟音频信号的最大幅度值分成 $2^{16}=65536$ 个量化等级，也就是用 16 位二进制数来表示这个模拟量。

量化后的二进制数位数越多，量化的程度越高，量化噪声越低。在 16 位二进制数的模/数转换中，信噪比为 98dB。

(5) 时分复用器

CD 光盘的信息记录是螺旋形一圈一圈由凹槽和平台组成的信迹，在某一个瞬间只能有一个信迹被检出，但 CD 光盘中记录了左、右两个声道的信息，放音时两个声道的扬声器同时在发声，因此 CD 光盘中把每 6 次采样归纳为一帧，每次采样有 2 个 16 比特的采样值，一个是左声道，另一个为右声道，分别被细分成 2 个 8 比特的单元，这样一个 8 比特的单元称为 1 个字。每个采样点有 4 个 8 比特的字。处理时，左、右声道轮流处理；放音时，左、右声道把转换后的声音放送出来。

(6) 交叉交织技术纠错能力

在 CD 机中，使用了多种交叉技术和交叉交织技术进行纠错处理。由于光盘的划伤、污染，会造成许多误码。利用交叉交织纠错技术可以纠正 8232 比特的通道码，1 比特通道码折合 0.277μm 的信迹长度。8232 比特的通道码折合成 2.2mm 的长度，所以在光盘上 2mm 左右的污染或划伤可以得到纠正。

当突发的误码长度大于交叉交织技术的纠正长度时，想把误码纠正过来已不可能，只能在误码两端的正确数码之间采用内插方法，也就是取平均值的方法来推算出误码值。利用这种方法最大纠错能力可达12000通道码，约可折算成7.7mm的光盘上的信迹长度。

(7) EFM调制

为了提高记录密度，尽量减少信号的低频分量并排除干扰，在对光盘刻蚀、记录信息之前，需要进行一系列信号处理，其中一项内容就是8位—14位调制，简称EFM调制。

在EFM调制时，两个数码“1”之间应插入2个以上、10个以下的“0”，这称为3T~11T规则(1T = 0.277μm)。例如，0000000转换成EFM码以后为01001000100000。

在EFM码中，“1”代表信号的变化，也就是光盘上凹槽的边沿，其它没有信号变化的地方，不论凹槽底还是平台都用“0”表示。

8位二进制码变成了14位的EFM码以后，在每组14位的EFM码之间还加入了3个二进制的连接码。连接码没有声音信息，只起调整的作用，解调时要把它去掉。

为了说明EFM调制过程，我们以8位二进制码01100001→01000111为例，变为EFM码及光盘上的凹槽情况示于图14-30中。

图14-30(a)为原始的数字化音频数据——两组8位二进制数；图14-30(b)是按3T~11T规则把8位二进制数变成14位EFM码以后的情况；图14-30(c)是在两组14位EFM码之间加入了3位二进制连接码以后的形式；图14-30(d)为EFM码与光盘凹槽的对应关系。由图可见，光盘凹槽的底和平台处均为“0”，凹槽的上边沿与下边沿均为“1”。

(8) 同步信号的特点

CD中记录声音信号是以帧为单位的，为了使帧与帧之间

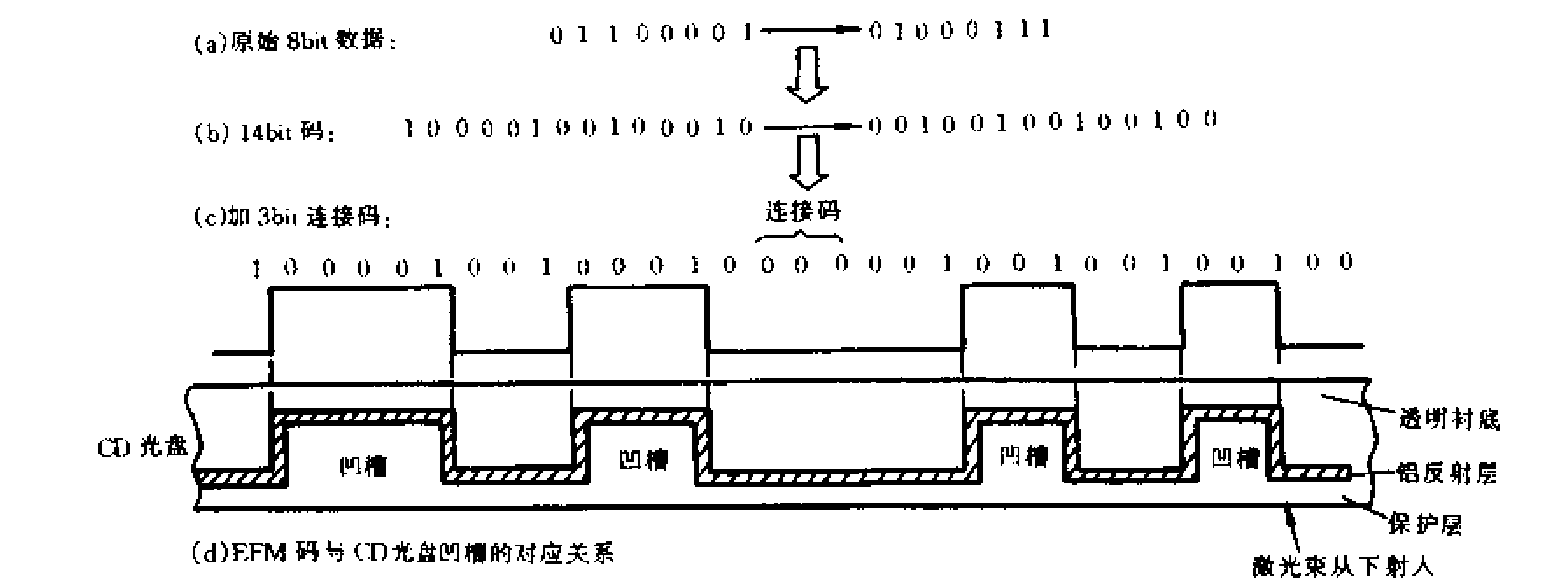


图14-30 EFM调制及光盘上凹槽对应情况

能够区别开，在每一帧前面都加有 24 位二进制数作为同步字。这个同步字选择为 EFM 码中不存在的码型：100000000001000000000010。

(9) 帧的结构

帧的结构表示如下。

同步码 (24 位)	连接码 (3 位)	显示信息 (8 位→14 位)	连接码 (3 位)	左声道 (8 位→14 位)
Q 校验 (3 位)	连接码 (3 位)	右声道 (8 位→14 位)	连接码 (3 位)	P 校验 3 位

2. CD 光盘

图 14－31 示出了 CD 光盘的结构。

CD 光盘为单面，直径为 120mm，中心孔直径为 15mm，夹盘区直径为 26mm，直径 50mm～116mm 之间为信号记录区（节目区），盘片厚 1.2mm。光盘的盘体是透明塑料，表面镀有一层约 0.1μm 的铝膜，再敷以保护涂层。

CD 光盘的记录范围由引入区、节目区和导出区等组成。在节目区内记录着数字化音频信号。导入区记录了每首曲目的开始时间、曲目数、曲目播放时间，统称为曲目表，由唱机读出和存储这些索引，可用于程控放唱。导出区是在整盘节目播放完毕时，指示机内微处理器复位或重播。

CD 系统中光盘旋转为 CLV（恒线速）方式，因此在读盘时，光盘在外圈读和内圈读时的转速不一样，以保证线速度在 1.2m/s～1.4m/s 之间，保持信号读出的速度不变。

信号形成的凹槽和平台称为信迹，信迹是连续不断的螺旋形分布，从内到外共 20652 圈，总长度为 5300m。CD 光盘的信迹分布见图 14－32。

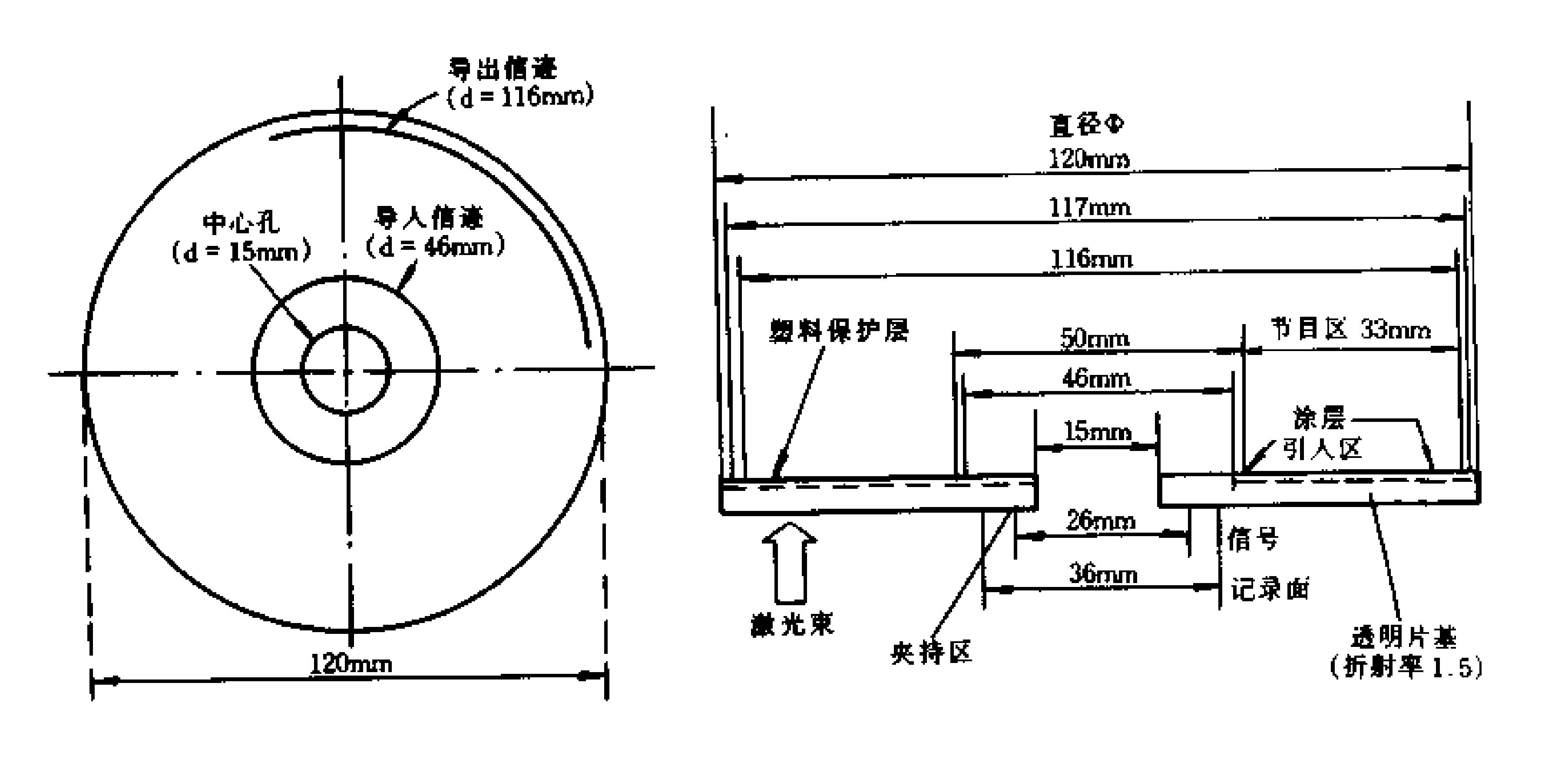


图 14－31　CD 光盘的结构

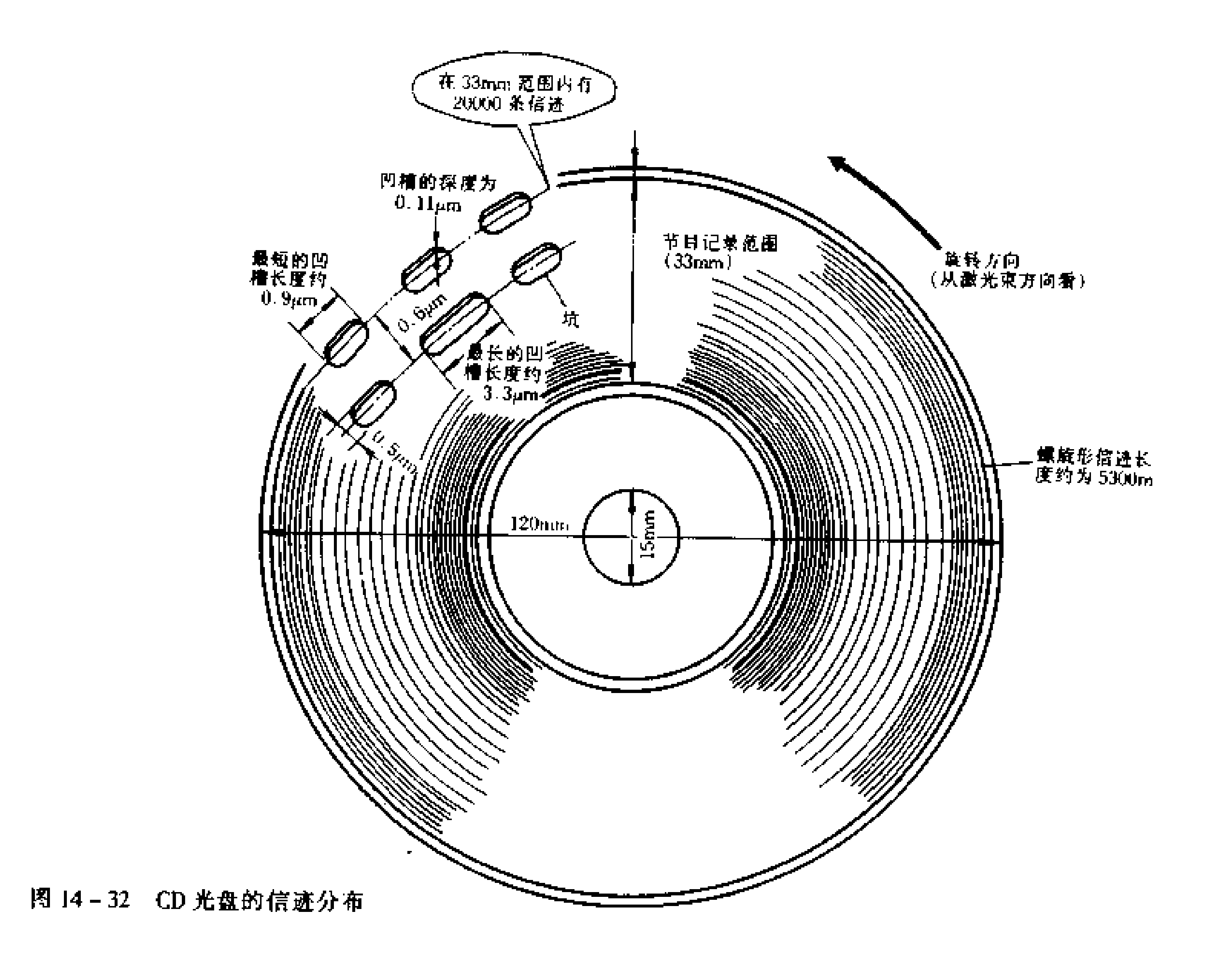


图14-32 CD光盘的信迹分布

3. CD信号的重放

(1) CD唱机的基本组成部分

CD唱机组成的方框图如图14－33所示。CD光盘(激光唱片)是音乐信号的载体，制作CD光盘的过程，就是对音乐信号进行信源编码和信道编码的过程，这一过程是由生产厂家进行的。CD光盘通过CD唱机放音的过程就是解码的过程。

CD光盘上的信号首先由激光头发射的激光所拾取，激光头的结构及激光束的路径如图14－34所示。激光束由激光二极管发出，发出时为单光束，经分光光栅分裂为三束光，再经过半反射镜(既能透光也能反射)及聚焦透镜照射到光盘信息面上。从CD光盘上反射回来的光束受到光盘上一系列凹槽与平台的调制有了明暗变化，也就是反射光上携带了光盘上的信息。这三束光经聚焦镜头返回，打到半反射镜上，通过检测器透镜照射到由光电二极管组成的光电检测器上，光电二极管的输出信号就反映着CD光盘上的全部信息。

主轴电机的作用是驱动CD光盘的旋转，并随时受伺服电路的控制，保持恒线速转动，因此转速随光头的移动而相应改变。

进给电机的作用是驱动激光头沿水平方向前后移动，保证激光头在光盘信息面上准确地跟踪信迹轨道，准确地读出信息，同时在搜索节目时驱动激光头快速移动，准确而快速地找到要播放的曲目。

伺服放大器由AN8800集成电路完成。它包括对聚焦误差和跟踪误差的检测，对误差信号进行放大，并对从光盘中读出的信号进行预放大。

MN6650芯片是专用的伺服信号处理电路。它包括对聚焦、循迹和进给电路的伺服控制，对聚焦误差、循迹及进给的反馈信

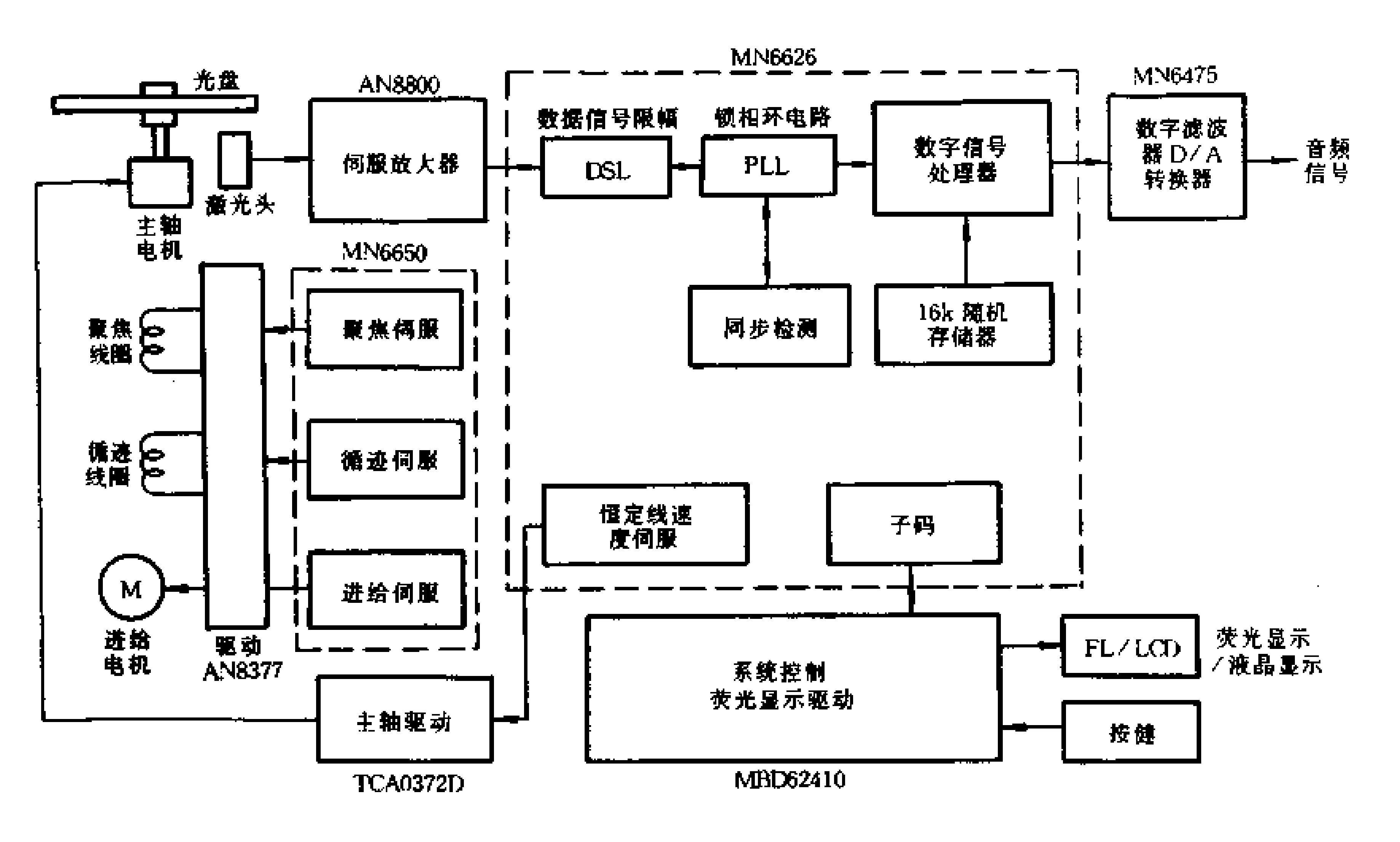


图 14-33　CD 唱机的组成方框图

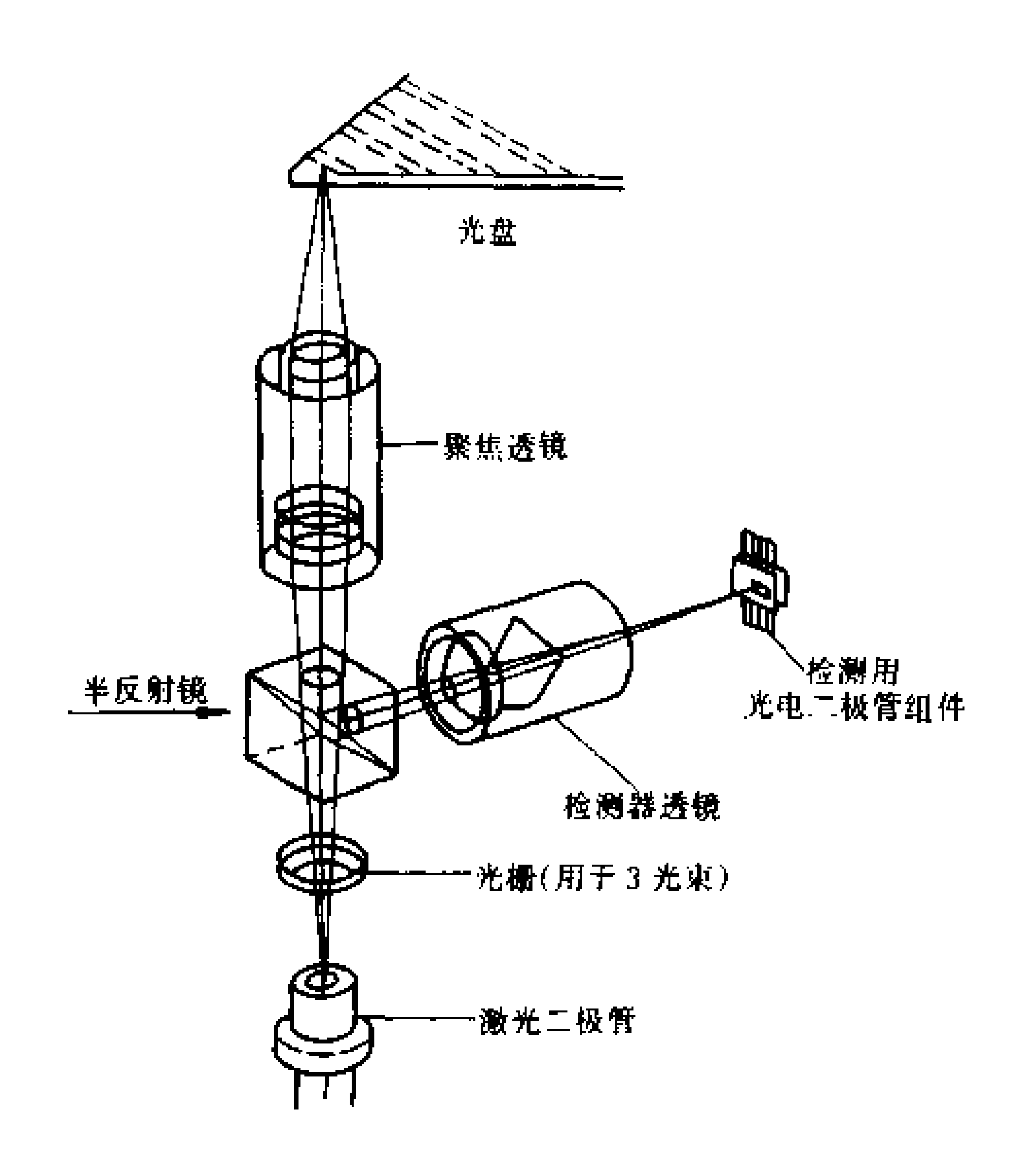


图14－34　三光束光头结构及光路路径

号进行处理，送出对聚焦线圈、循迹线圈及进给电机的控制信号。

由MN6650送出的控制信号送到AN8377驱动电路中，以控制聚焦、循迹和进给的正确工作。

TCA0372D是主轴驱动电路，它接受MN6626发出的恒线速(CLV)信号，保证主轴电机的正确转速。

MN6626是CD信号处理电路，它是一片大规模集成电路，内部包含着多种功能，即：对数字信号的处理、对主轴的控制和读出子码、为主轴驱动提供控制信号以及为显示系统提供曲目

信号等。

D/A(数/模)变换由 MN6475 完成,它的作用是把 CD 处理电路 MN6626 输出的二进制数字信号还原成模拟信号。MN6475 中还包含数字滤波电路。

整机系统控制由 MBD62410 微处理器完成,它担负着 CD 机的整机控制,把按键指令转换成相应的控制信号完成相应的操作动作,同时在显示器上显示出来。

(2) 数字聚焦伺服电路

图 14-35 是数字聚焦伺服电路的原理框图。光电检测器由 $A_1 \sim A_4$ 四个光电二极管组成,通过它取得的聚焦误差信号送到误差检测集成电路 AN88005,对误差信号进行放大,然后由㉞脚输出放大后的误差信号,送到数字聚焦伺服集成电路 MN6650 中去。在 MN6650 中,模拟方式的误差信号先进行 A/D 转换,变为数字信号。A/D 转换器中的采样频率为 44.1kHz,是由电路内部定时电路产生。为了保证输出电压稳定,还加入了自动增益控制电路(AGC)。MN6650 的末级是一个脉冲宽度调制电路,脉冲越宽,输出的直流电压越高;脉冲越窄,输出直流电压越低,如图 14-36 所示。

MN6650⑳脚输出的控制电压中还含有交流成分,经低通滤波器滤波后,变成直流控制电压,经放大器放大后直接驱动聚焦线圈,使聚焦透镜上下移动,实现自动聚焦调节。

(3) 循迹伺服电路

循迹伺服电路的作用,是通过对循迹误差的检测,使激光光束始终跟踪旋转光盘上的螺旋形信迹轨道,以便连续正确地读出信息,既不能中断,也不能“跳槽”(相当于机械唱片中的跳槽)。

循迹检测电路示于图 14-37。循迹信号与聚焦信号的取

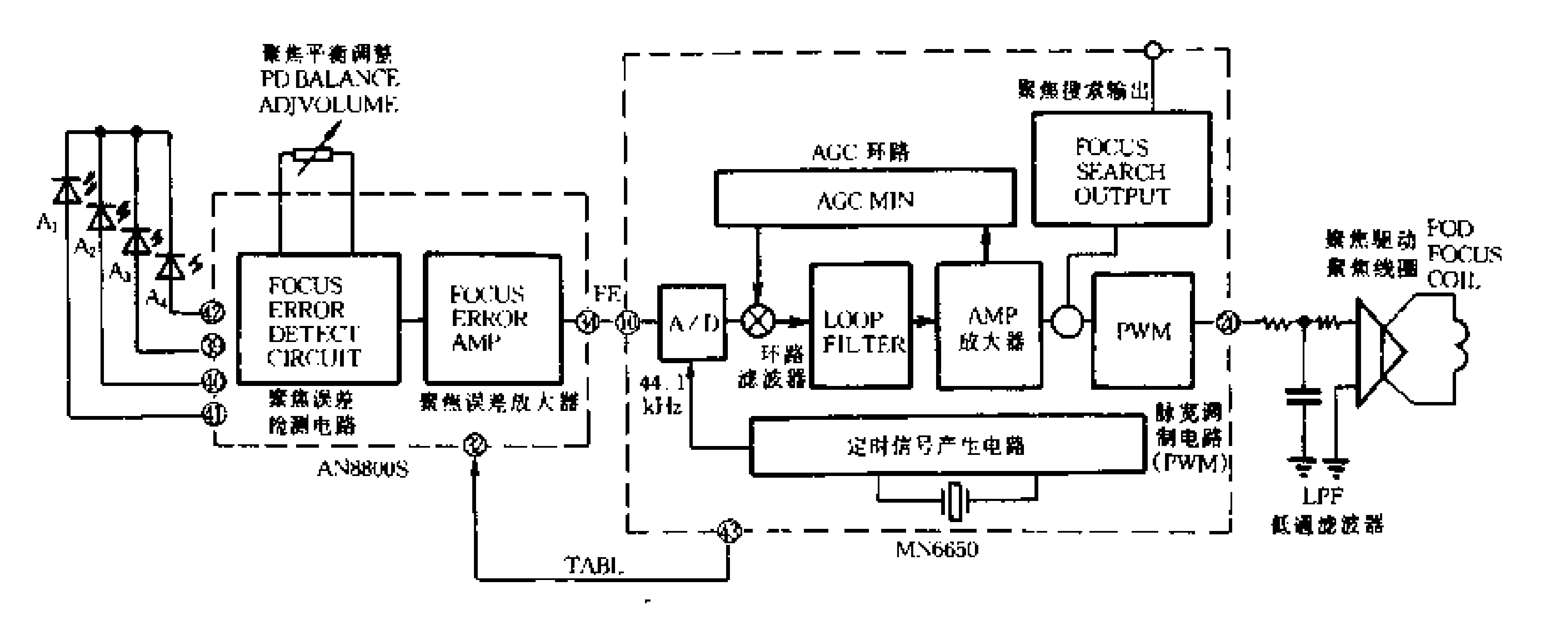


图 14-35 数字聚焦伺服电路

输出的直流电压

图 14 - 36　脉宽调制的直流输出

出方式相似，在光电二极管组成的光电检测器中，利用($A_1 + A_2$)与($A_3 + A_4$)之间的差值形成。

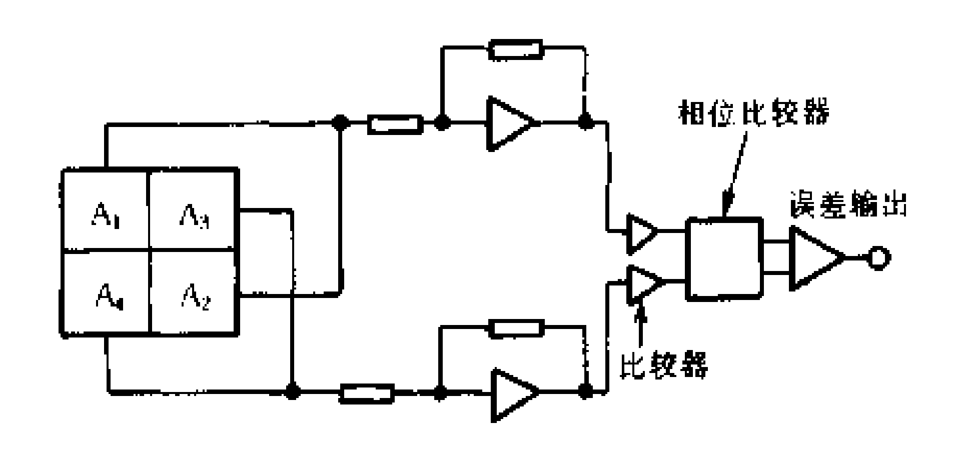


图 14 - 37　循迹误差检测电路

单光束 CD 唱机采用的是相位差检测法，光束在 4 个光电二极管上移动，光照强度与光束偏移量成比例，由此形成误差信号，如图 14 - 38 所示。

图 14 - 38(a)中，自左向右表示了三种情况。第一种情况光束偏左，激光束移动时先碰到 A_1，然后覆盖照射在 A_1 和 A_4 上，最后偏离 A_1只照射在 A_4上，此时的输出电压波形如图 14 - 38(b)左侧波形图所示。因为光束先照到 A_1，所以($A_1 + A_2$)超前，然后是($A_3 + A_4$)，最后是 A_4。($A_1 + A_2$)波形超前于($A_3 + A_4$)。实际上 A_2、A_3并未受到光照。此时形成的循迹信号为正脉冲。

图 14 - 38(a)中的第二种是跟踪准确的情况。光束处于光电检测器的中间位置，此时的($A_1 + A_2$)与($A_3 + A_4$)的相位和时间相同(因为 A_1、A_2与 A_3、A_4为交叉安置)，所以循迹误差输出为

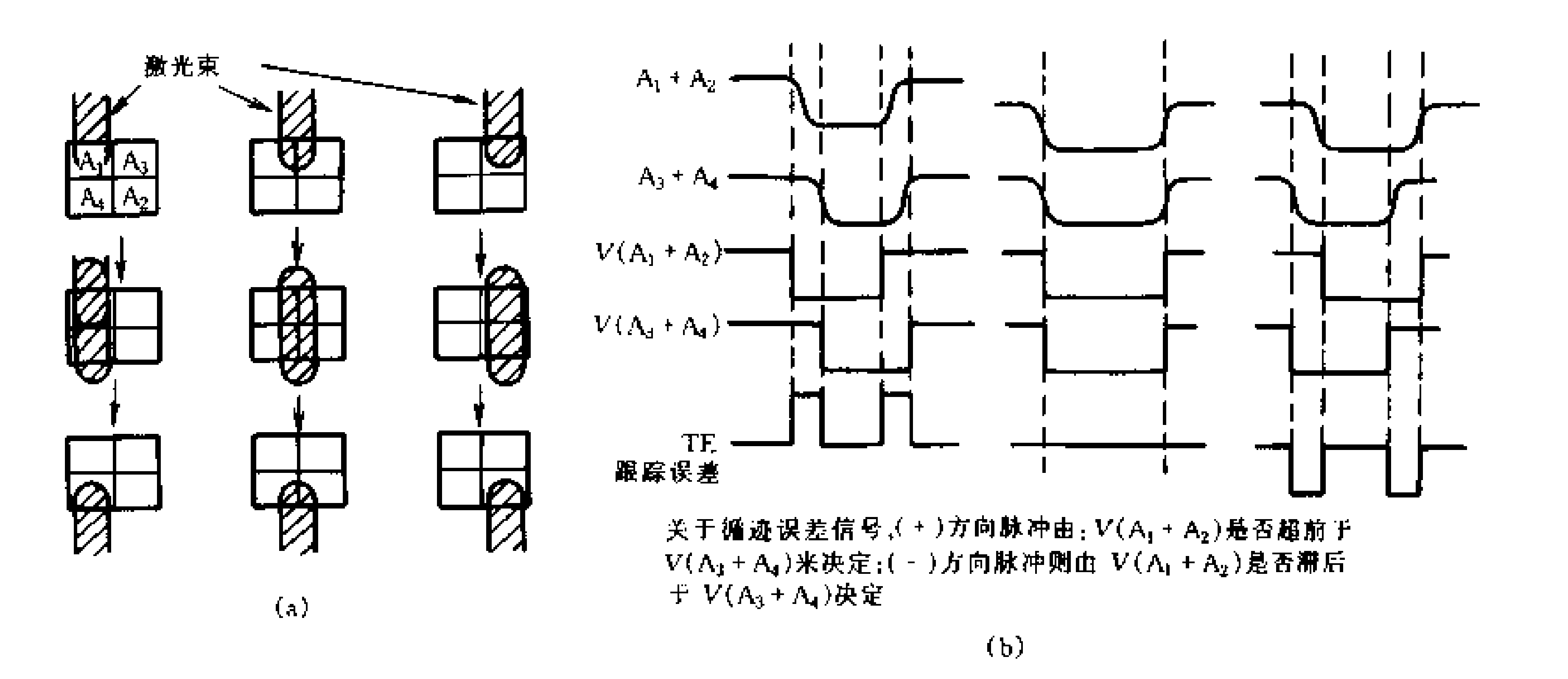


图 14 - 38 循迹信号的形成

零。

第三种情况为光束偏右，光束先碰上光电二极管 A_3，然后是 (A_3+A_2)，最后是 A_2，所以在图 14－38(b)的波形图上，(A_1+A_2)的波形滞后于 (A_3+A_4)的波形（实际上 A_1 与 A_4 未受到光照），此时输出误差信号为负脉冲。

循迹伺服电路与聚焦伺服电路相同，由循迹误差检测与放大集成电路 AN8800S 完成，与聚焦伺服使用同一块集成电路。数字处理电路由 MN6550 完成，整个电路的检测与调节过程也与聚焦伺服调节相似。

(4) 进给伺服电路

进给伺服电路是使激光头作水平移动（径向移动），由进给电机驱动，使激光头从光盘内圈向外圈移动，进行正常播放。此外，选曲、快进、快退和暂停，都是由控制进给电机来完成的。进给伺服也是利用循迹误差信号来实现对光盘上信迹的跟踪。进给伺服电路原理见图 14－39。

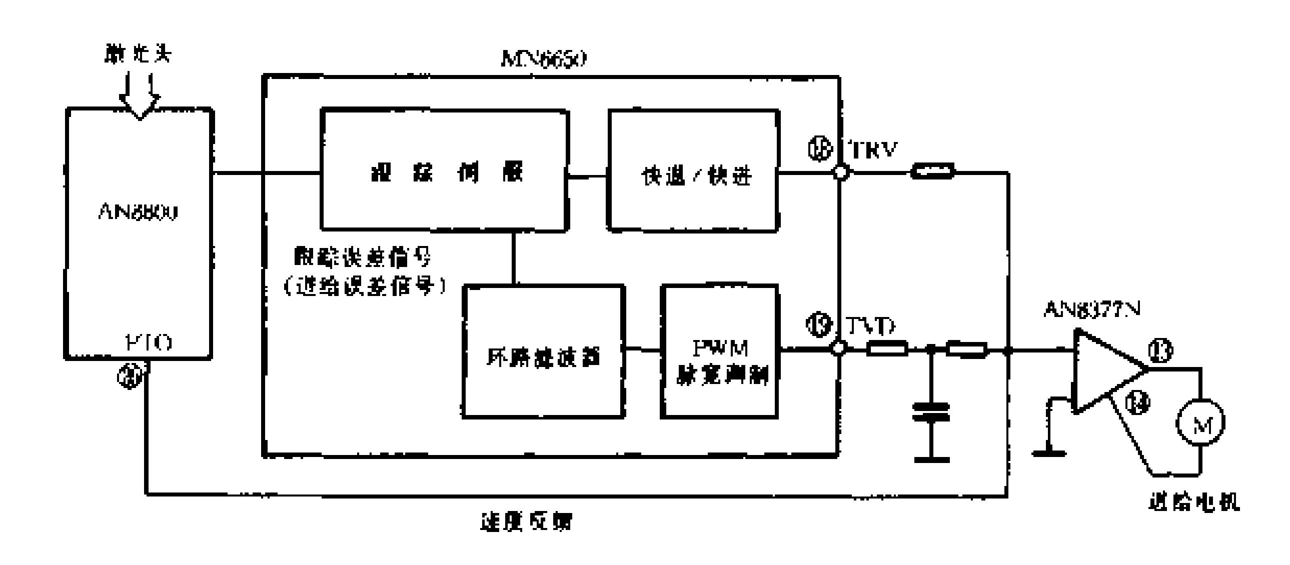


图 14－39　进给伺服电路

CD 唱机播放时，进给伺服电路从循迹伺服电路 MN6650 中的环路滤波器取得进给误差信号，送到进给伺服电路的环路滤

波器进行滤波后，进入脉冲宽度调制电路 PWM 中，在⑲脚的 TVD 端输出脉冲宽度信号，由脉冲宽度表示直流控制电压的大小，再经低通滤波器滤除高频成分后得到直流控制电压，通过 AN8377N 放大后，驱动进给电机，使激光头在驱动电压控制下移动。

电机反转时，⑲脚 TRV 输出高电平；电机正转时，⑲脚 TRV 输出低电平。由放大器 AN8377N 输出不同极性的电压，以控制直流进给电机的正转和反转。

在循迹误差检测及误差放大电路 AN8800 的 PTO 端（㉕脚），是进给电机转速反馈的信号输入端。由误差的大小来控制进给驱动速度的快慢。

进给驱动电路输入与输出曲线如图 14－40 所示。在转动方向变换中心有一段死区，这是为了防止在方向变换处产生振荡，保证换向稳定。

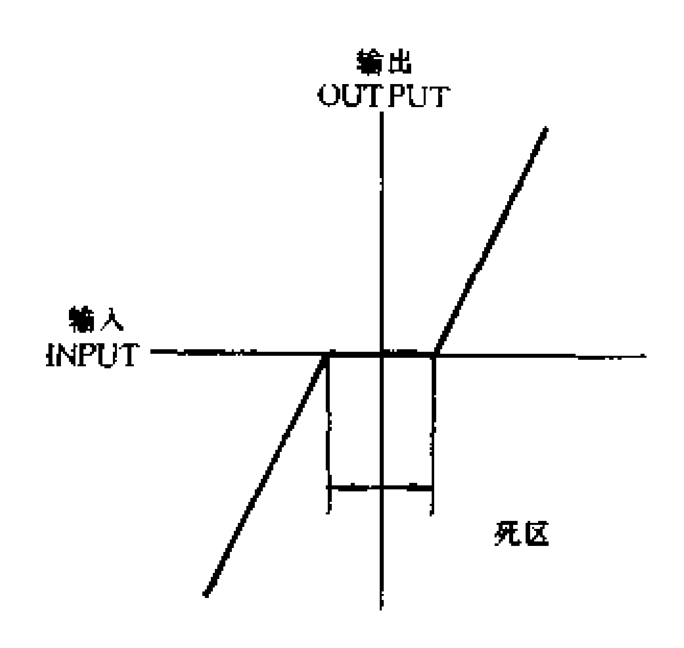


图 14－40　进给驱动输入、输出特性

（5）CD 机中的主轴伺服电路

CD 唱机为了提高记录密度，使用了恒线速度（CLV）方式，

也就是在记录和重放时激光束与信迹之间的相对速度不变。因为 CD 光盘内圈直径为 46mm，外圈直径为 117mm，每圈之间仅相距 1.6μm。为保证匀线速度，激光头处于最内圈时转速为 520r/min，处于最外圈时转速为 204r/min。在连续放音时，螺旋形信迹轨道每圈直径均不相同，主轴电机的转速也在随时改变，以保持以匀线速读取信息。能够使主轴电机转速随时按要求进行改变的电路就是主轴伺服电路。

激光束与信迹之间的相对速度定为 1.2m/s ~ 1.4m/s，一般取 1.25m/s 为标准速度。

要实现匀线速控制，最关键的是 CD 光盘上录有能反映速度的信息，这个信息就是帧同步信号。

若读取光盘时，主轴转速随时调整保证 CLV 方式准确，则此时同步信号频率为 7350Hz 不变。当测得同步信号频率高于或低于 7350Hz 时，说明主轴转速不对，应予调整。调整过程是：晶体振荡器产生一个 4.3218MHz 信号作为基准。这是因为，光盘在以标准线速度重放时，每秒钟拾取的二进制数的数量恰好为 4.3218×10^6 个。把基准信号与光盘实际读取的数据同时送入比较器内进行比较，就知道此时主轴电机转速的快慢。这个与标准速度比较快或慢的信号称为误差信号，用误差信号去控制主轴驱动电路，使主轴速度去接近或达到标准速度，这就是主轴伺服电路的调整过程。主轴伺服电路的方框图示于图 14－41。

主轴伺服电路只有当主轴电机的转速与标准转速相差不大时才起作用。当光盘放入 CD 机中，主轴刚刚开始旋转时，主轴转速与标准转速相差很大，此时，由拉入电路使主轴转速去接近标准转速。它的原理是：通过锁相电路检测 EFM 码的大小，因为 EFM 码中最长数据为 11T，最短数据为 3T。当发现

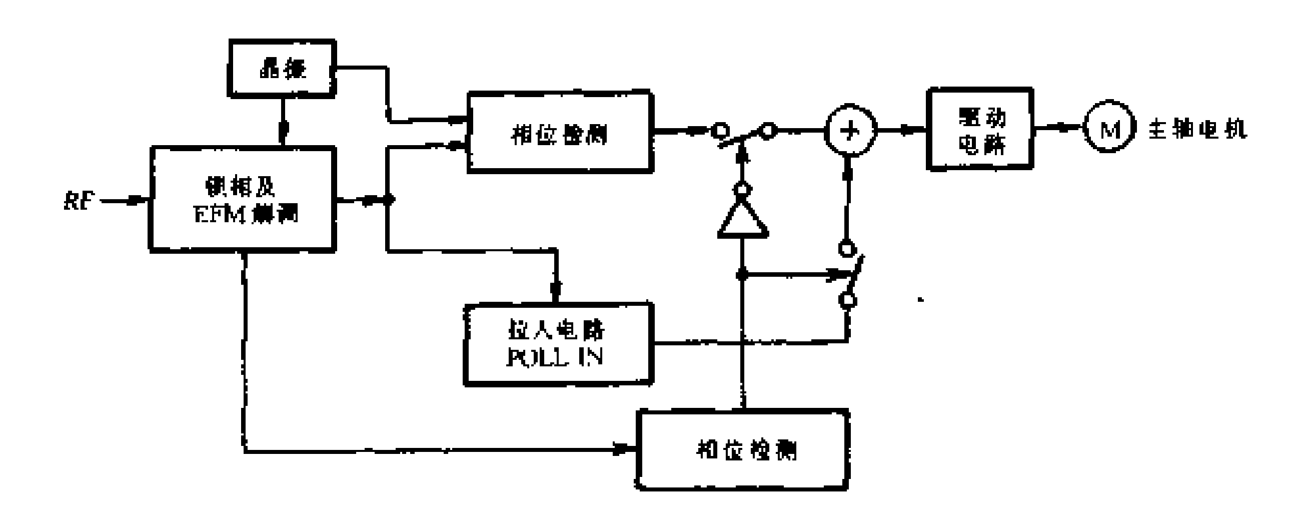


图 14-41　主轴伺服电路框图

EFM 码小于 3T 时，说明主轴转速过快；当发现 EFM 码大于 11T 时，说明主轴转速过慢。因为在这时主轴伺服电路中误差信号反馈回路已经断开，拉入电路接入了驱动电路，这样就可以根据判断出的主轴电机转速快慢进行调整，使电机全速加速或减速，很快接近标准转速，使读取数据的速度落在 3T～11T 之间，这时再断开拉入电路并接通转速误差信号，使主轴伺服电路正常工作。

(6) 微处理器如何指挥信号处理电路的工作

CD 唱机各部分都要在微处理器的指挥下协调工作，微处理器相当于 CD 机的“大脑”，它与各部分功能电路之间的关系如图 14-42 所示。

微处理器与信号处理器 AN6626 由三条控制线相连接，其中 MDATA 为数据指令信号，用来传递工作状态指令；MCLK 是时钟信号，提供数据处理的节拍信号；MLD 是启动信号，表示数据处理开始。数字信号处理器在收到微处理器的指令后开始工作，同时向微处理器发回工作状态信号(STAT)，通知微处理器数字信号电路已进入工作状态。

光盘测试完成后，微处理器向主轴电机发出加速指令信号，

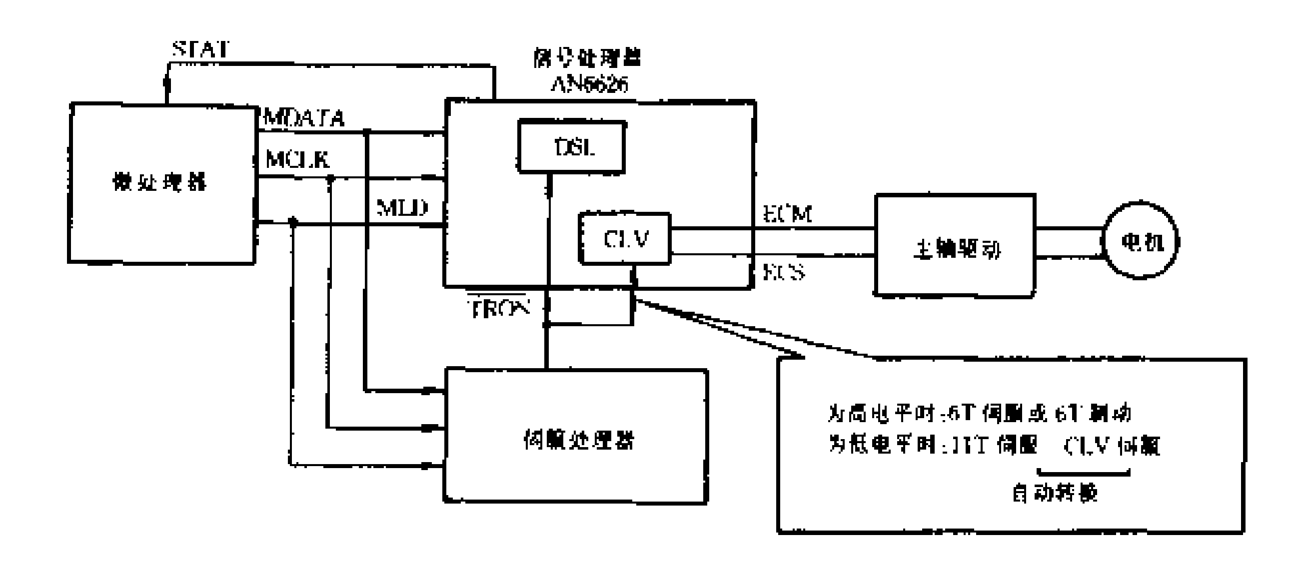


图 14-42 微处理器与功能电路之间的关系

启动主轴电机,其程序流程见图 14-43。

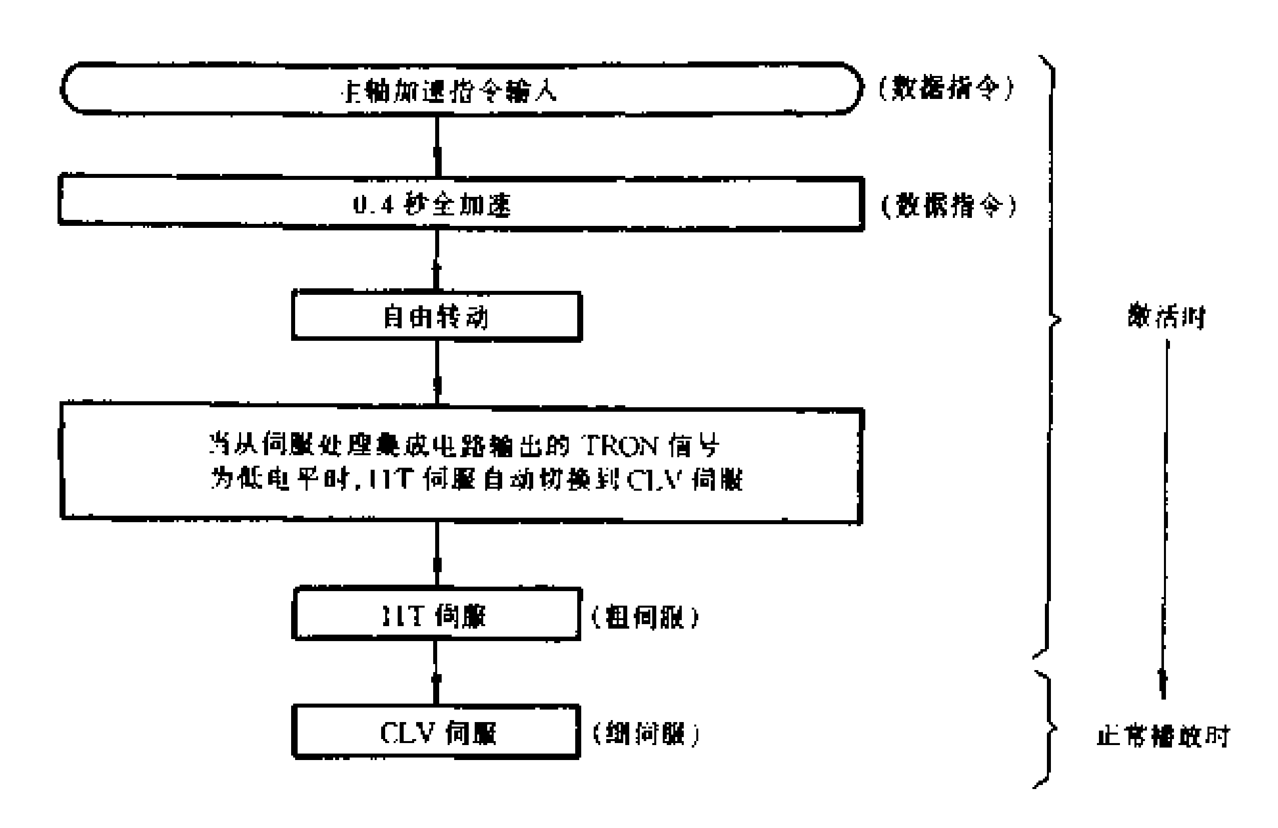


图 14-43 主轴电机启动程序流程

主轴电机从启动到 CLV 以后,CD 机进入播放状态。同时微处理器还要控制各种伺服电路,配合主轴电机协调工作,以保

证播放的正常进行。

(7) 音频信号处理电路

CD机的音频信号处理电路主要由激光头与伺服放大器、数字信号处理器、数/模变换电路和系统控制电路等几部分组成，如图14-44所示。

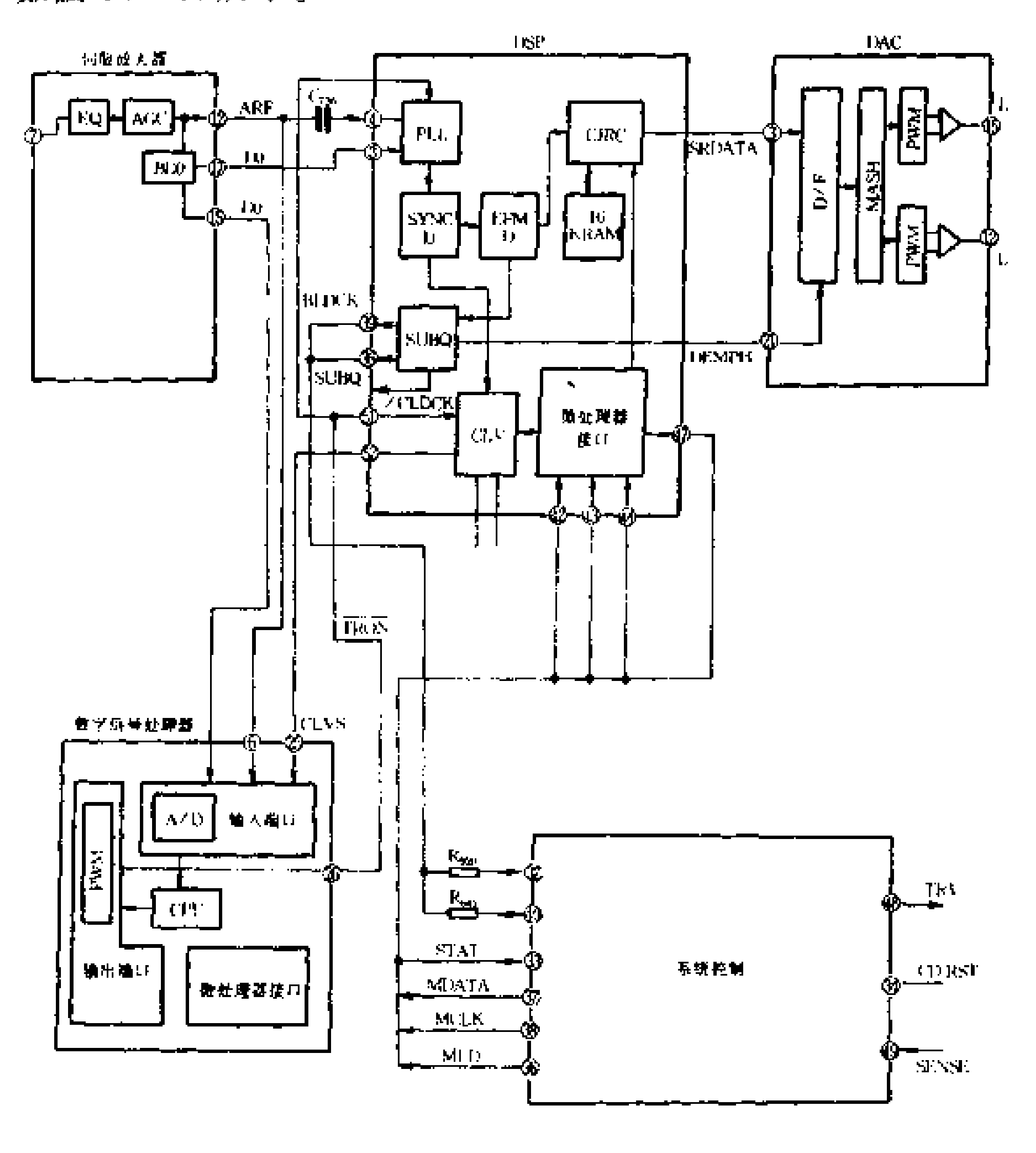


图14-44 音频信号的处理电路

激光头输出的信号先进入伺服放大器进行放大(EQ均衡放

大与 AGC 自动增益控制放大)，然后送入数字处理集成电路 DSP 中进行处理。在 DSP 电路中先进行锁相处理(PLL 电路)，然后进行同步检测(SYNC D)，取出同步信号，再送到 EFM 解调器中进行解调(把 14 位的通道码恢复成 8 位二进制码)，解调出的 8 位二进制数字码送 CIRC 解调电路进行去交织处理，变成串行数据信号 SRDATA，再送入数/模转换电路 DAC 中。在 DAC 电路中，先进行数字滤波(D/F)，然后进行多级噪声整形处理(MASH 处理)，恢复成两声道的脉冲宽度调制信号，并经低通滤波整形后变为双声道立体声音频信号。

(8) 目录信号 TOC 的作用

CD 在正常工作之前，需要许多准备工作及检测工作，若光盘或 CD 机有问题，CD 机会自动停机。光盘在开始阶段均有目录信号，CD 机在开始工作时要先读出(TOC)目录信号后再进入正常播放工作状态。

在工作开始时，首先是通电，CD 机中的系统控制微处理器(图 14－44)中㉞脚的 CD RST 信号由低电平变为高电平，CD 机中全部功能性电路都完成了初始化，处于待命状态。系统控制微处理器的㊱、㊲、㊳脚开始输出设置信号。这段时间大约需要 0.8s。

初始设置完成后，DSP 数字处理电路向系统控制电路㊾脚发回 SENSE 信号(低电平)，表示完成设置。

此时，人工操作 CD 光盘加载，也就是按动“出盒”键，使托架弹出，放好光盘后，再按一次此键，托架收回。当光盘托架到位后，系统控制电路㊽脚变为低电平，同时向进给电机驱动电路发出 TRV 信号，TRV 信号使进给电机旋转，驱动激光头向光盘内圆起始方向移动。激光头移动到光盘内侧时，光头架使内圆检测开关接通，进给电机反向停转，随之进给电机正转，激光头

开始向外圆方向移动，光头刚离开检测开关，检测开关即断开，同时进给电机也停转，光头停止移动。此时，系统控制电路的㊲脚发出 TOF 指令(激光二极管供电、聚焦伺服电路接通、跟踪关断)，当数字处理电路 DSP 收到 TOF 指令后，由 DSP 电路向伺服放大器发出聚焦驱动信号(FOD)。伺服电路收到 FOD 指令后，先把聚焦镜头移动到最低位置，然后把聚焦误差信号记忆下来，进入自动聚焦过程，这一过程见图 14－45。

自动聚焦动作开始时，数字处理电路 DSP 的 FOD 端向聚焦伺服电路输出一个 1.3Hz 的三角波，驱动聚焦镜头上下移动，从而检测出聚焦误差信号，同时由光电检测器输出光盘上的信息数据信号。

当光盘控制、聚焦检测完成后，由数字信号处理电路 DSP(图 14－46 中的 IC702)向系统控制电路 IC901 的㊺脚 FLOCK 发出低电平，表示以上处理过程已完成。可参照图 14－46 中 SL－CH550 型 CD 唱机框图。

光盘检测时，IC901 系统控制电路在㊲脚 MDATA 发出 DOT 指令，使光头以 5.4Hz 的频率进行搜索。检测完成以后，数字处理电路 IC702 的⑫脚向系统控制器 IC901 的㊾脚 SENSE 发出高电平，同时向㊺脚 FLOCK 发出低电平。当没有光盘或光盘损伤造成不能检测时，SENSE 变成低电平，同时在显示器上显示“NO DISC”，即无光盘。

在接通电源后 2s 时间内，通过对 CD 机外部动作的观察，可看到 CD 机内部的如下动作：激光头向光盘内圈移动，碰到开关后停止，稍作停留后，光头向外移动，且立即停止，接着是聚焦镜头下移，进行聚焦搜索，同时光盘开始检测，光盘开始旋转。

从光盘检测完成到正常播放前为待机状态，此时伺服电路

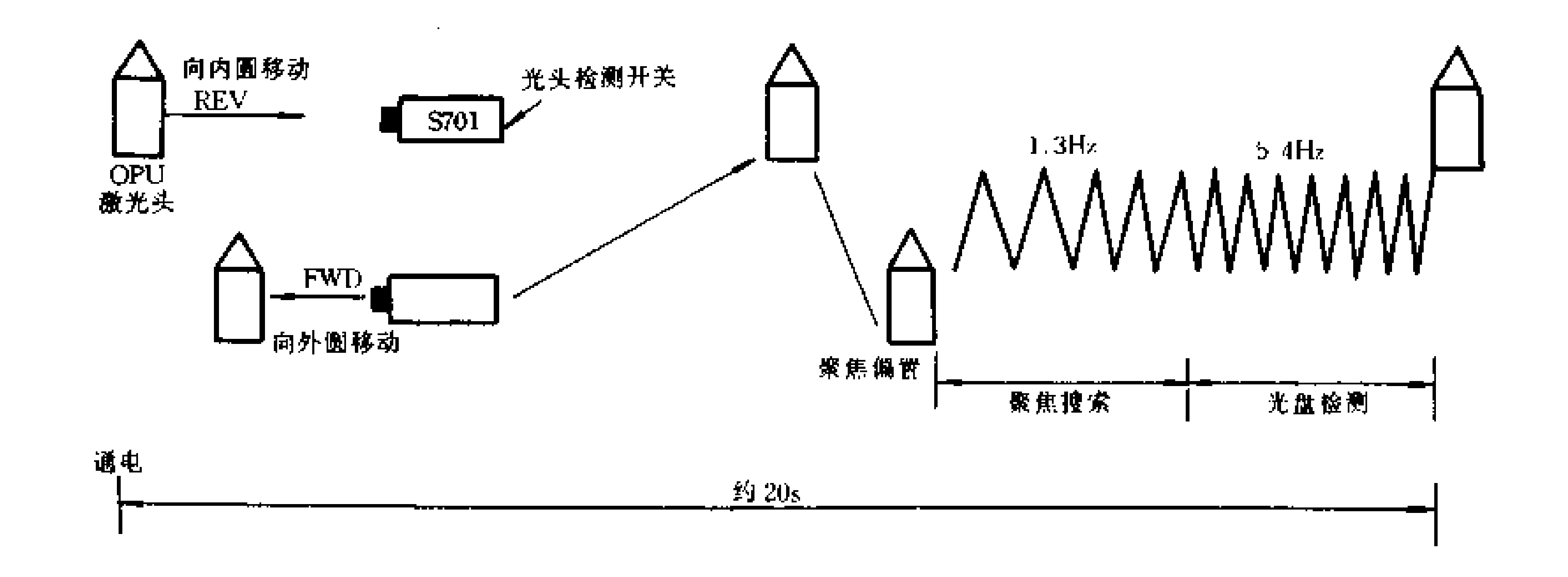


图14-45　自动聚焦过程

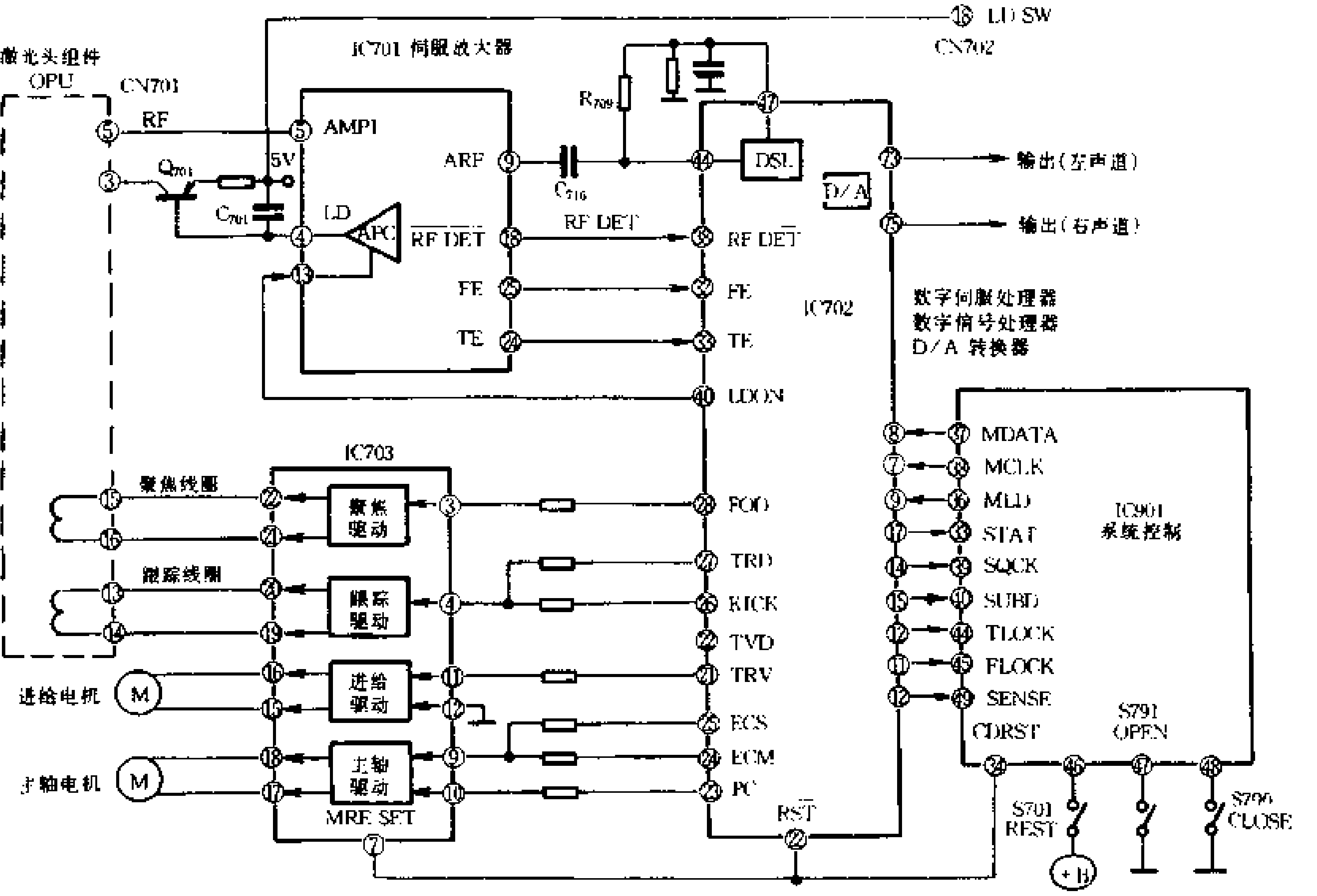


图 14-46　SL-CH550 型 CD 唱机框图

通过数字处理电路使系统控制器的 FLOCK 为低电平，表示检测正常，进入待机状态，见图 14－47。

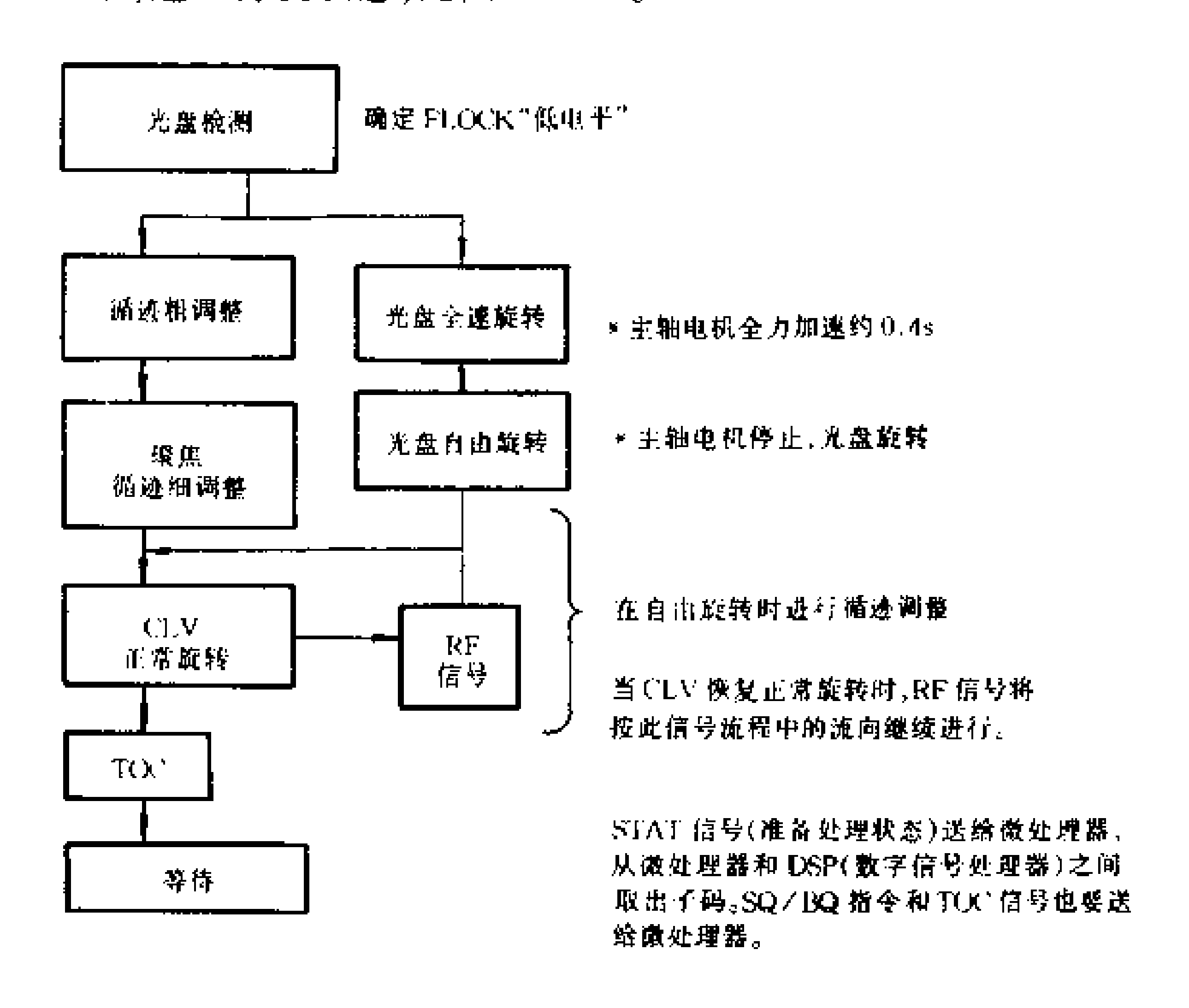


图 14－47 CD 机从光盘检测到待机状态

当 FLOCK 为低电平以后，主轴电机开始以最高转速旋转，进行循迹粗调，然后聚焦伺服电路开始进行粗调，此时主轴电机停止供电，光盘处于自由旋转状态，在自由旋转时进行跟踪调整，并开始以匀线速运转，同时光电检测器输出从光盘上读取的通道(RF)信号，此时读出的信号为乐曲目录信号(TOC)，并进入待机状态，等待使用者选择某一节目并开始放送。

如果 TOC 完成，则表示激光二极管电路、聚焦伺服电路、进给电路以及微处理器电路工作良好。

第四节　VCD 影碟机的组成及工作原理

VCD 影碟机是继 CD 唱机之后于 1993 年开发出来的音像播放光盘机，它也使用 12cm 的光盘，但由于其音频、视频信号都采用数字处理技术，即高压缩比的数字处理方法，使得直径 12cm 的光盘上能记录 74min 的信息内容。图像清晰度为 250 线，相当于 VHS 录像机水平。VCD 一经问世，就以它的低成本、丰富的光盘软件而得到迅速发展，几年来在我国得到了大面积的普及，VCD 机的产量已居世界首位。

VCD 影碟机是以 CD 激光唱机为基础，CD 为 VCD 的诞生作了大量的准备。CD 唱机经过一系列技术改进，发展到 VCD 机，其中最关键的是数字图像压缩技术和标准的产生和制订。VCD 与 CD 有着十分紧密的联系，也有着明显的区别，我们就从 CD 机如何发展产生了 VCD 机谈起。

一、CD 唱机如何衍生出 VCD 机

1.VCD 继承和沿用了 CD 的记录和重放的技术标准

CD 技术仅有 20 多年的历史，它的编码方式已经相当成熟和完善，VCD 技术继承和沿用了 CD 的主要标准。例如，继续采用 EFM(8～14)调制数据记录方式；数据的传输速率与 CD 标准相同，即光盘的转速(CLV)相同；继续采用 CIRC 交叉交织纠错编码，编码和解码的体制也与 CD 标准相同；仍然采用帧编码数据结构，等等。因此，VCD 机的播放机构、数据的认读与纠错的原理和电路等都不需要再作改变，继续使用 CD 机的电路，就可以完成 VCD 影碟机的大量功能。

1994 年夏，我国市场上开始出现 VCD 影碟机，这种早期的

VCD 机称为“改装机”，就是给 CD 机加装一块 MPEG-I 解压缩板后，即可重放图像和伴音。为此，读者在了解了 CD 机的组成和工作原理的基础上，再重点学习视频/音频信号的压缩与解压缩的有关知识，就可以初步掌握 VCD 机的组成和工作原理。

2.VCD 所采用的音视频压缩原理是什么

大家知道，在一张 12cm 的光盘上，可以记录 74 分钟的音乐节目。在 VCD 中，为什么同样尺寸的光盘能够存储同样时间的声音和活动图像呢？实际上 CD 光盘完全用于存储声音数据信息，已经占用了碟片面积的 97%左右，若采用原来尺寸的碟片存储图像和声音信息是不可能的。目前，VCD 所记录的活动图像采用的是 MPEG-I 的压缩标准。MPEG-I 可以将活动图像压缩到只有原来的 1/100～1/200 的信息量，将声音压缩到原有的 1/6.5，经过这样高的压缩比之后，音像质量在播放时仍可获得令人满意的效果。MPEG-I 对活动图像进行压缩主要基于以下原理：

(1) 电视图像信号为每秒 25 帧(PAL 制)或每秒 30 帧(NTSC 制)，这与电影有相似之处。经过对大量活动视频图像的研究发现，一般连续数帧活动图像变化不太大，那些背景和人物等的基本要素没有变化，只是各帧画面之间的相对位置有些不同。从信息传输角度来说，各帧画面之间有许多相同的重复信息，称为冗余信息。根据这一重要特点，在场景转换时，可对首先呈现的第 1 帧画面进行全面的编码传输，而对后续的各帧画面只传输其变化的差异。这样就可以利用原来存储的第 1 帧画面和变化值重现后面各帧画面，从而大大降低传送数据的信息量。这种方法称为“减少帧内冗余量”，可以将图像数据大大压缩。

(2) 实际上不仅帧与帧之间存在信息冗余，在每帧内也存在着大量信息冗余。对于一幅画面来说，并不是各个部分都很清晰精细，通常是主体事物清晰，背景模糊；人物面部清晰，其它

部分模糊。这样，可以把一幅图像分解为许多图像单元，对那些清晰度高的单元采用较高的数码传输率来传输，而对那些模糊的部分用较低的码率来传输，这样可以大量减少数据传输量。

(3) 一些画面变化很快，或者图像运动很快，本身比较模糊，各帧画面之间具有较大变化。此时，仅仅传输运动过程中某些少数画面，而在重放时用计算方法计算出那些未传输的各帧画面，人的眼睛仍是可以接受的。这样，对于运动很快的图像，可使数据量压缩数百倍。

3. 图像与伴音的压缩编码标准

国际标准化组织 ISO 与国际电工委员会 IEC 于 1993 年 6 月通过了 VCD 机标准，即 ISO/IEC 11172-1 建议卡，就是 MPEG-I 标准。1994 年又通过了 ISO/IEC 13818，即 MPEG-II 标准。

(1) MPEG-I 标准

MPEG-I 标准通过后，1994 年又由索尼、飞利浦、松下、JVC 四家公司联合修订发表了卡拉 OK CD 的标准的第一版，即所谓的 1.0 版本。由于卡拉 OK CD 采用的活动图像记录技术与影视记录存在一些差别，而后，四家公司又联合制定了一个新的标准，即 1.1 版本，它可以连续播放 74 分钟活动图像。1.1 版的 VCD 光盘主要用于存储卡拉 OK 和电影信息，包括歌曲名称、背景画面、电影的对白字幕和有关的文字资料等。1997 年 7 月，这几家公司又联合制定了一种更新 VCD 制作标准，即 2.0 版本 (Ver 2.0)，这个标准已成为目前 VCD 生产的技术标准，在 VCD 的功能上和质量上都有很大提高。与 1.1 版本比较，不同的功能与改进主要有以下几个方面：

① 具有人机对话形式的菜单重放控制功能：我们可以通过放像控制 PBC 功能播放实例来了解这一功能。当开始播放 VCD 片时，首先出现的是静止画面主菜单，选择不同选项栏后

打开下页子菜单进入深层选项，使用时可以通过遥控器进行简单人机对话操作。

② 增加了高精细静止画面播放功能。2.0版本充分利用分段放送内容区存储近2000幅高精细度静止图本资料，其像素是活动图像的4倍。静像时，使静止画面清晰度增加一倍，对PAL制，图像清晰度由352点×288线提高到704点×576线。

③ 在VCD盘片的软件内容区的物理轨迹上可直接录制音乐CD-DA规格的曲目，兼容了两类碟片的相互性。

(2) MPEG-II标准

MPEG-II是1994年制定的标准，是一种高质量图像压缩标准，也称为广播电视的图像压缩标准。它包括视频、音频和系统三部分。

采用MPEG-II的视频图像压缩方式，可以把视频数据压缩100倍，使得一张12cm的光盘单层存储高达4.7GB的数据信息。

MPEG-II音频是多通道音频编码系统，对MPEG-I兼容，并附加了三个采样频率，即16kHz、22.05kHz和24kHz。

MPEG-II音频采用AC-3编码、5.1通道方式，即左右声道、左右环绕声通道以及中央通道。另外还有低频增强(LFE)通道，对低频加以扩展，以增强声音的感染力，其频带为15Hz～120Hz，称为0.1通道。5.1通道放音布置见图14－48。

二、VCD机的性能及工作原理

1. VCD机的性能

VCD机视频及音频方面的特性(技术参数)如下：

(1) 视频特性

视频输出电平(峰—峰值)：1.0±0.2V

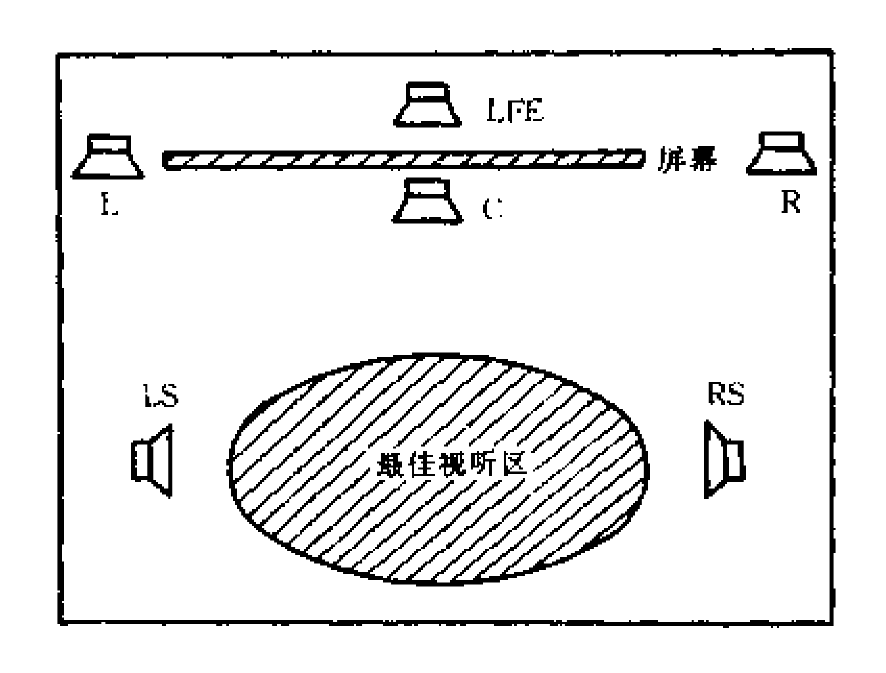


图 14－48　5.1 通道放音布置

水平清晰度：425 线

亮度通道带宽：≥3.5MHz

色度通道带宽：f_{sc} ± 0.38MHz

亮度信噪比：≥50dB

(2) 音频特性

音频输出电平：$2.0^{+0.2}_{-0.1}$V

音频重放频率：20Hz～20kHz ± 3dB

总失真率：≤0.04%(1kHz)

2.VCD 机的工作原理

我们以国产长虹 VD3000 影碟机为例，简要介绍 VCD 机的电路组成及工作原理。

(1) VCD 影碟机的组成

VCD 影碟机由机芯、RF 信号放大电路、激光功率调节 APC 电路、光电检测器电路、多种伺服电路、数字信号处理 DSP 电路、音频/视频解码电路、D/A 转换电路、系统控制电路及电源等部分组成，如图 14－49 所示。

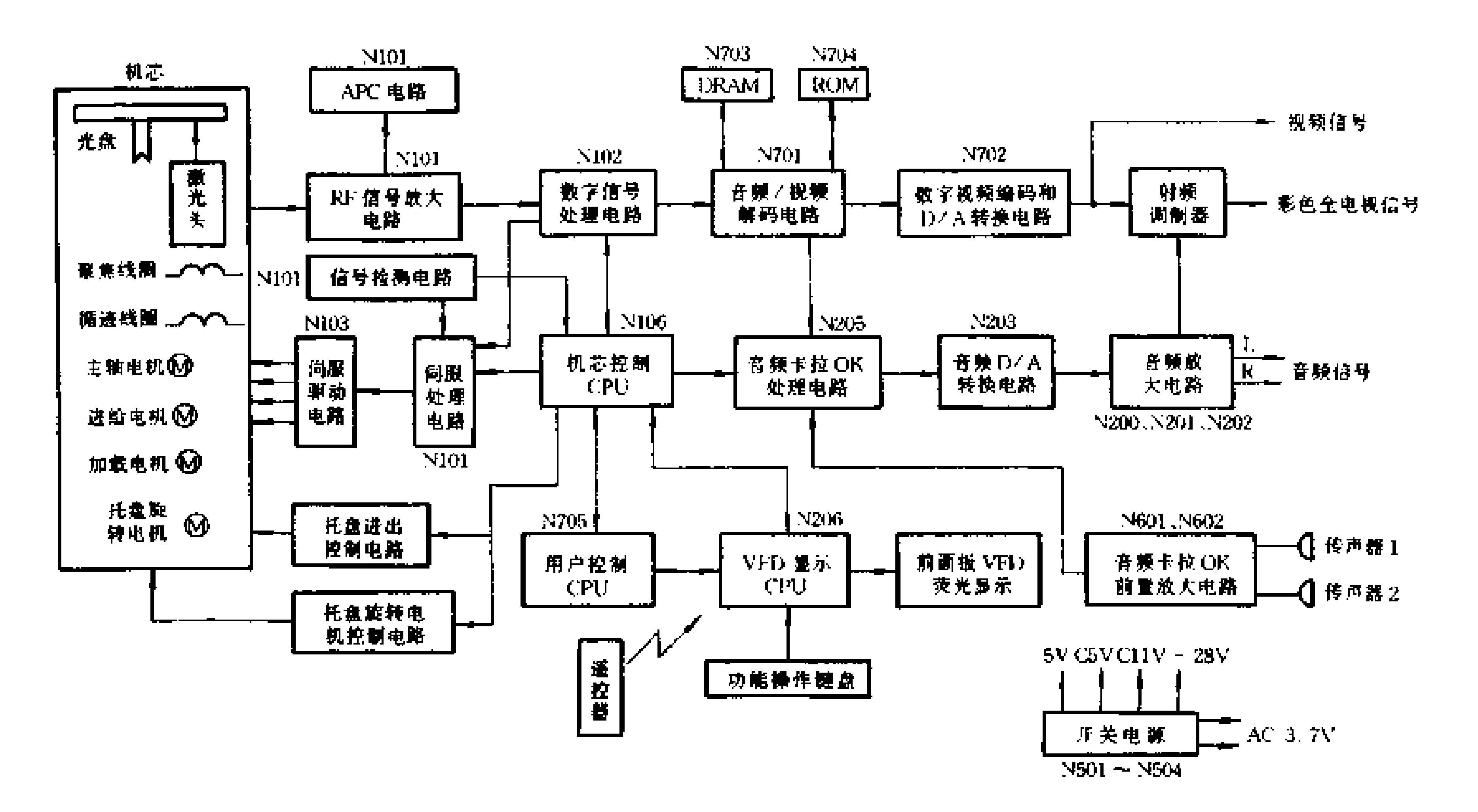


图14－49　VCD整机电路框图

VCD 机可以看作是在 CD 机的基础上增加 MPEG-I 视频音频解码电路组成的。为此，对与 CD 机相同的部分不再重复介绍，只介绍与 VCD 工作原理有关的电路。

(2) APC 电路的构成及作用

对激光二极管发出的激光功率进行自动控制的电路称为 APC 电路，它的作用是使激光二极管发出的光强恒定，保证读出信息的可靠性。激光功率自动控制电路示于图 14-50 中。

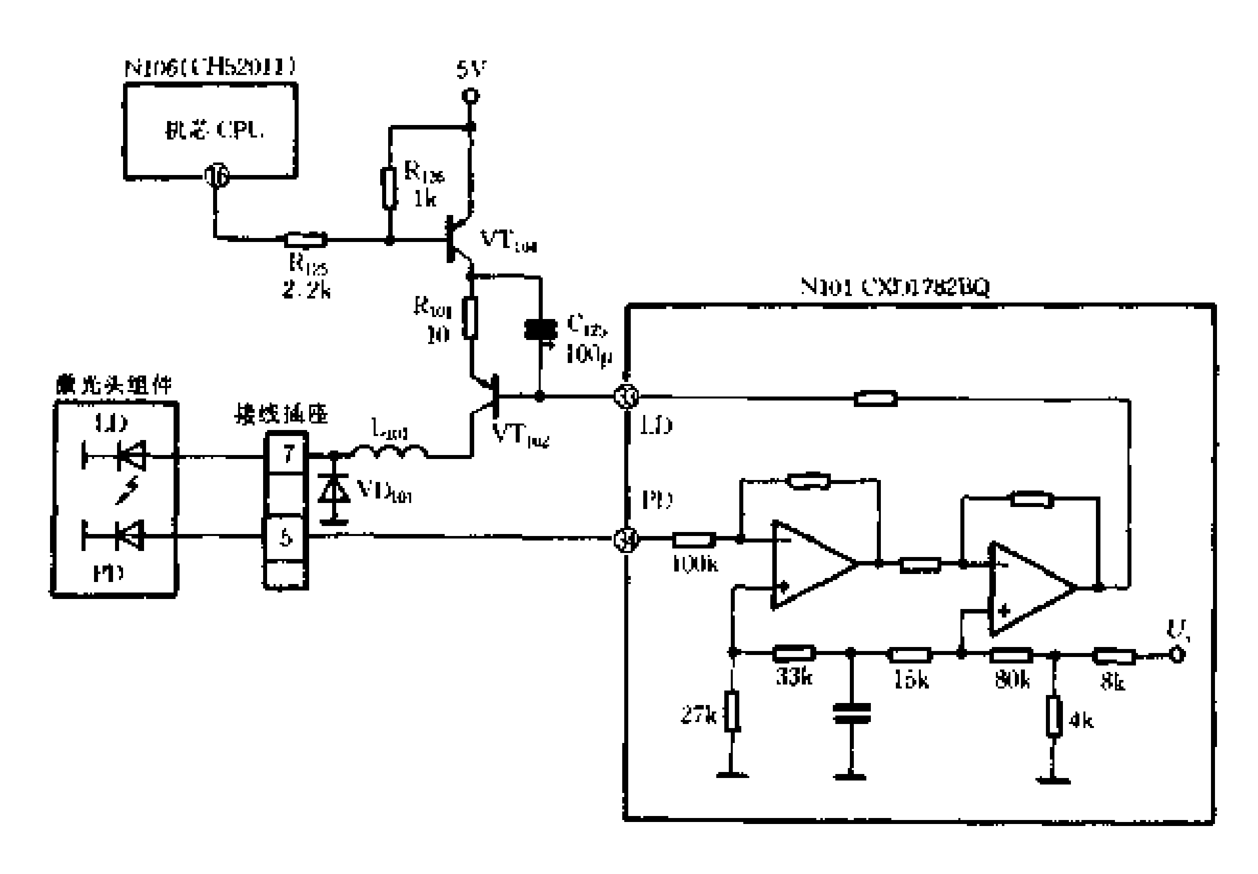


图 14-50　激光功率自动控制电路

接通电源后，机内控制 CPU(N106)复位，控制激光头先向内再向外移动，读取 TOC 目录信息；同时激光头碰到限位开关时，向 CPU 发出高电平，此时 CPU 第⑯脚输出低电平，使晶体管 VT_{104}饱和导通，晶体管 VT_{102}基极受 N_{101}控制也为低电平，所以 VT_{102}也导通，这时激光二极管 LD 得到工作电压开始发光；同时，激光头内的光电二极管 PD 受到 LD 的照射发出一个电压信

号给 N_{101} 的㉞脚，经两级放大后，从 N_{101} 的㉝脚输出去控制 VT_{102} 基极，通过控制 VT_{102} 的导通程度控制激光二极管 LD 的发光功率。当 LD 输出功率增大时，PD 输出信号也变大，经放大后从㉝脚输出，使 VT_{102} 内阻增加，LD 上的电压降低，激光功率下降，这是一个负反馈控制系统。

(3) 聚焦误差信号与伺服电路

聚焦误差信号与伺服电路如图 14－51 所示。

聚焦误差信号是采用象散法获取的。当激光束的光线焦点准确地落在光盘的信息面上时，光电检测器中的四个光电二极管输出信号相等，聚焦误差信号 $FE=(A+C)-(B+D)=0$，FE 信号进入 N_{101} 处理后送到聚焦驱动电路 N_{103}，由于聚焦准确，聚焦线圈不得电，透镜不动作。当激光束聚焦不准时，聚焦误差信号 $FE\neq 0$，此误差信号 FE 从 N_{101} 的①脚输出，经 R_{142}、R_{141} 进入 N_{101} 的②脚，经过 N_{101} 内部的聚焦相位补偿和差动放大后，从⑥脚输出，经 R_{129} 送入聚焦伺服驱动电路 N_{103} 的㉔脚，经过比较器与电平转换，从 N_{103} 的㉖、㉗脚输出，去驱动聚焦线圈，使透镜作相应移动，直到聚焦准确。

在图 14－51 中的 N_{101} 内部，有 4 个聚焦伺服控制开关 FS_1～FS_4，它们的动作由 CPU 控制。其中 FS_1 为聚焦搜索方向控制开关，FS_2 为聚焦搜索控制开关，FS_3 为缺陷检测控制开关，FS_4 为聚焦通断控制开关。

(4) 循迹误差信号、循迹伺服及进给伺服

为了使激光束准确迅速地读出信息，需要进给与循迹伺服紧密配合，具体电路如图 14－52 所示。

光盘上的信息凹槽宽度只有 0.4μm，循迹精度大约是 0.1μm，要达到这样高的精度，要求循迹伺服系统工作精确。循迹误差信号是由六象限光电检测器中两个辅助光电二极管产生

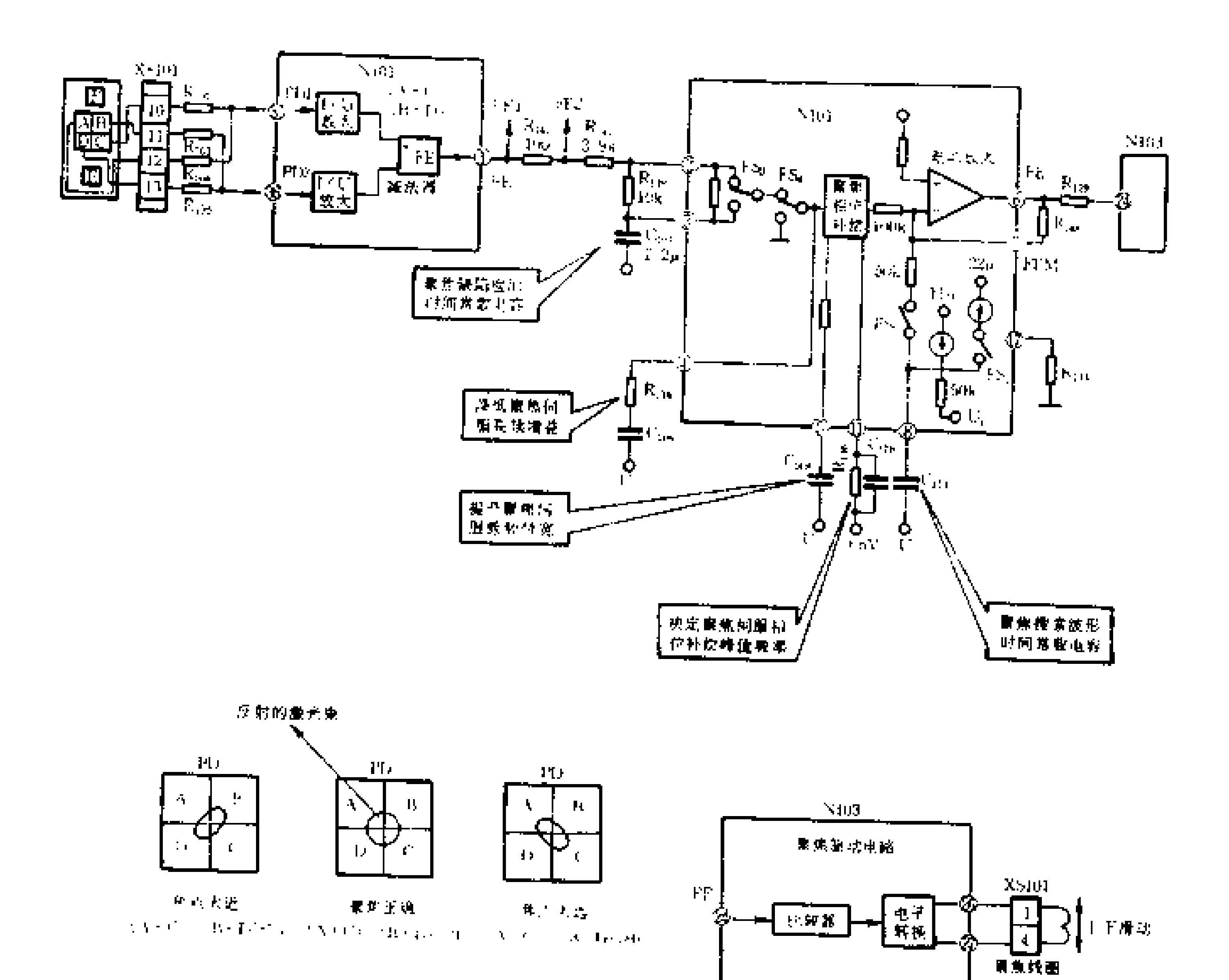


图 14 - 51　聚焦误差信号与伺服电路

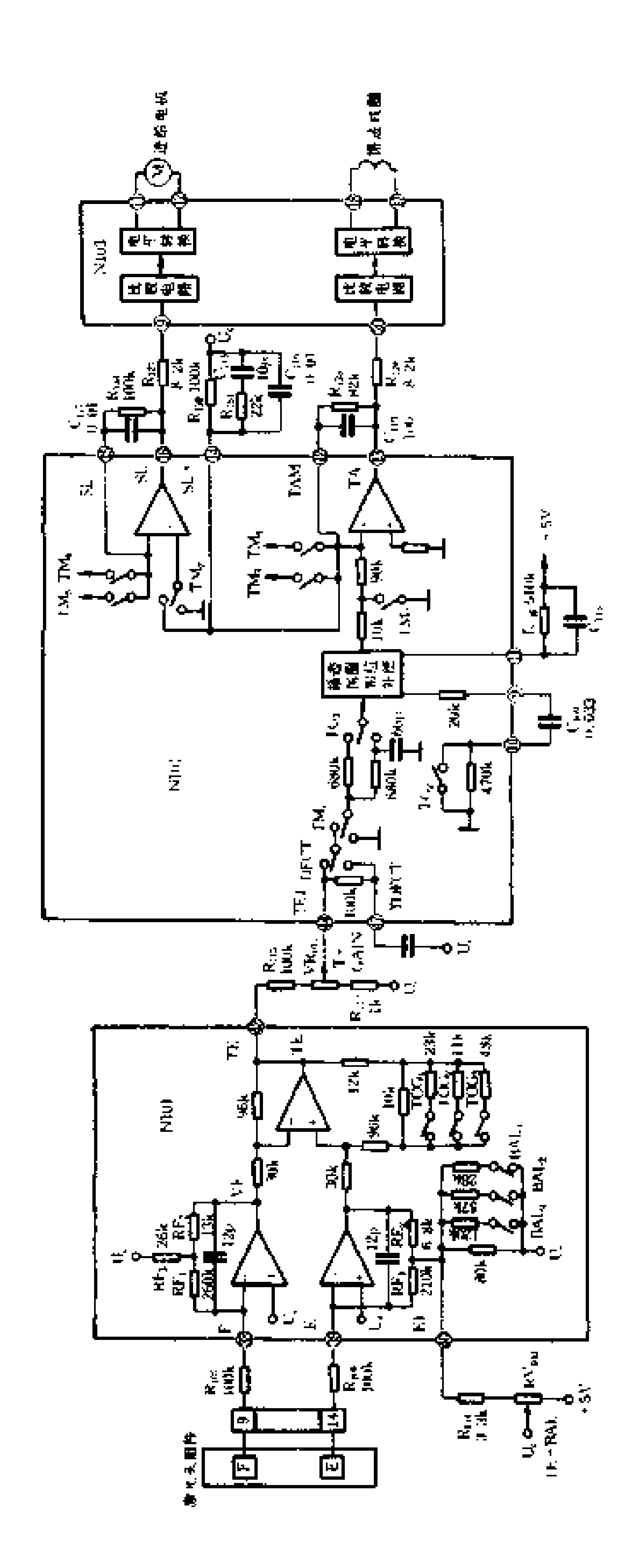


图14-52　循迹及进给伺服电路

的(图 14－52 中的 E、F)。当激光束跟踪准确时,E、F 两管上的光强度相等,误差放大器(在 N_{101}内部)输出的循迹误差信号 TE＝0。一旦循迹发生偏差,E、F 上的光强度不同,则 TE≠0,或正或负,通过 N_{101}内部的放大和处理,在⑫、⑬脚输出,通过循迹进给伺服驱动电路 N_{103},使循迹线圈得电,激光头作水平方向的微动,达到精确跟踪。

在伺服电路中,BAL_4、BAL_2、BAL_3 为误差平衡开关,TOG_1、TOG_2、TOG_3 为误差增益开关,TG_1、TG_2 为循迹增益开关,TM_1、TM_3、TM_4 为循迹伺服控制开关,TM_2、TM_5、TM_6 为进给伺服控制开关,TM_7 为制动控制开关。这些开关由 N_{102}中的伺服定序器控制,伺服定序器由 CPU(N_{106})控制,以实现各种伺服控制。例如,正向轨迹跳跃、反向轨迹跳跃、正向快进、反向快进等。

(5) 主轴伺服电路

主轴伺服电路如图 14－53 所示。

聚焦正常时,主轴电机开始转动,激光头从光盘内圈向外圈移动时,主轴伺服电路控制电机转速逐渐降低,以保持激光头与光盘的线速度恒定(CLV 方式)。

激光头读取信息时,先读出帧同步信号,送到主轴伺服电路 N_{102}的㉔脚,经过叠加电路、同步保护器、定时发生器 1,把帧同步信号的频率转变为 7.35kHz,送到 CLV 处理器中与定时发生器 2 产生的标准帧频(7.35kHz)进行频率与相位比较,产生误差信号 MDP,由④脚输出,再经 R_{145}、R_{146}、C_{119}进行低通滤波,经由 R_{144}加到主轴伺服驱动电路 N_{103}中,使主轴电机始终保持 CLV 转速。

(6) CPU 控制伺服系统的工作过程

集成电路 N_{101}内部循迹伺服电路的功能是把聚焦过零检测信号 FZC。跟踪过零检测信号 TZC、镜象信号检测 MIRR、窗口检测 ATSC、缺陷信号 DFCT 进行处理,由巡检开关送到 N_{102}内部

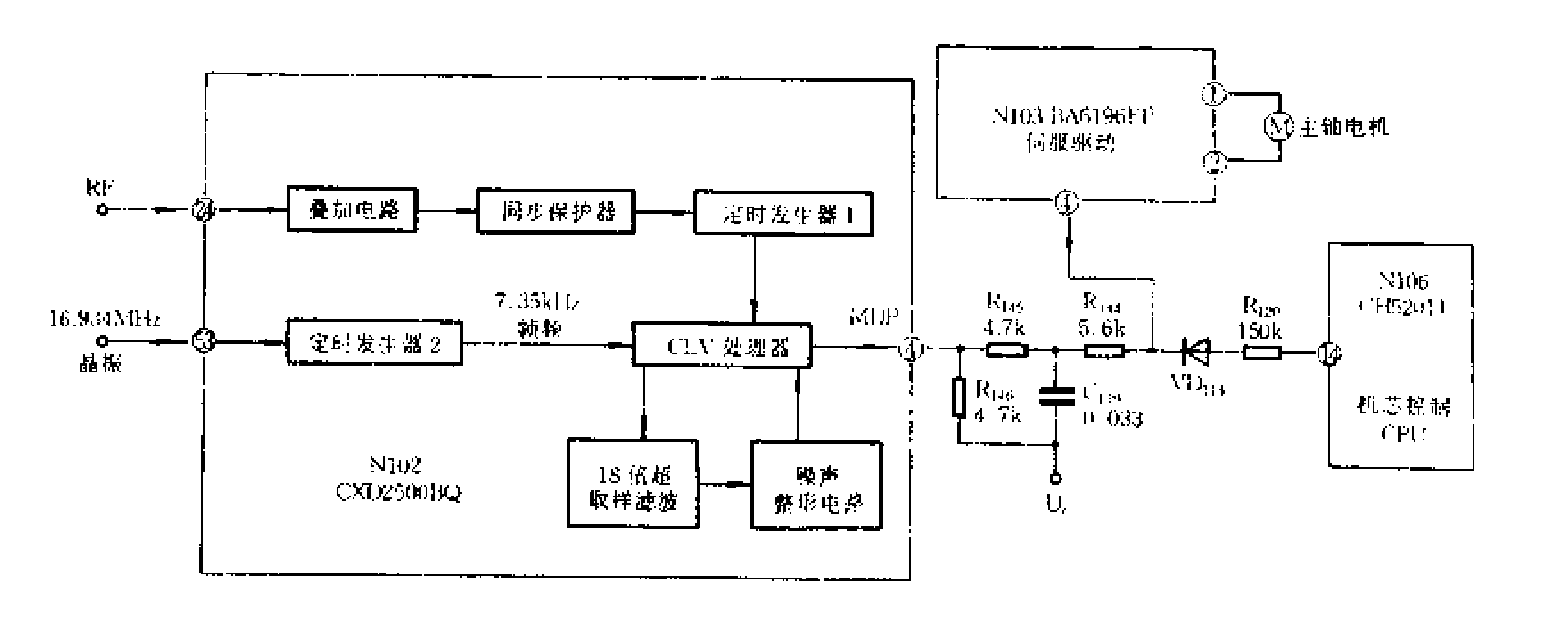


图 14－53　主轴伺服电路

的伺服定序器，输出 DATA 数据，控制 N_{101} 内部循迹伺服电路，并输出各种指令，控制循迹误差形成电路的 3 个平衡开关 BAL1～BAL3、3 个增益开关 TOG_1～TOG_3、聚焦伺服电路的 4 个开关 FS_1～FS_4、循迹伺服开关（TM_1、TM_3、TM_4、TM_7）、进给伺服开关（TM_2、TM_5、TM_6），并由这些开关控制循迹的通/断、正反向跳越、进给通断、正反向进给等，如图 14－54 所示。

(7) EFM 信号的解调

光电检测器的输出信号反映着光盘上记录的信息，它从 N_{101} 的㉛脚输出，经 C_{140} 耦合到 N_{102} 的㉔脚，进入叠加电路，放大后由㉗脚输出，经外部积分电路（R_{164}、C_{142}、C_{148}）积分，送入 N_{102} 的㉖脚，进入非对称性校正电路，使 EFM 信号具有很好的对称性；以叠加电路输出的另一路信号，送到锁相环电路 PLL。由 N_{203} 电路产生的 16.934MHz 信号，经 N_{102} 的㊺脚送入时钟发生器，输出 4.23MHz 的时钟信号，也送入 PLL 电路，和 EFM 信号中的位时钟信号进行锁相，以便控制 EFM 解调电路，准确地把 14 位二进制数字信号解调为 8 位二进制数字信号，如图 14－55 所示。

EFM 解调以后的 8 位二进制数字信号，经寄存器与数据总线的误码校正处理，送到 D/A 转换器转化为串行信号，再送到串/并行处理器，由㉞输出，送给解码电路。

(8) 解码电路

MPEG-Ⅰ解码电路示于图 14－56。它采用了 C-CUBE 公司的解码芯片 CL484，芯片有 5 个接口，即：主机接口、CD 接口、DRAM/ROM 接口、音频接口与视频接口。

主机接口和用户 CPU 相连，进行读/写通信；CD 接口接收 CD-DSP 的串行数字信号，此芯片可以接收 CD-DA 与 CD-ROM 模式，并通过搜索扇区标记来判断是 CD 还是 VCD 信号，并进行自动切换。

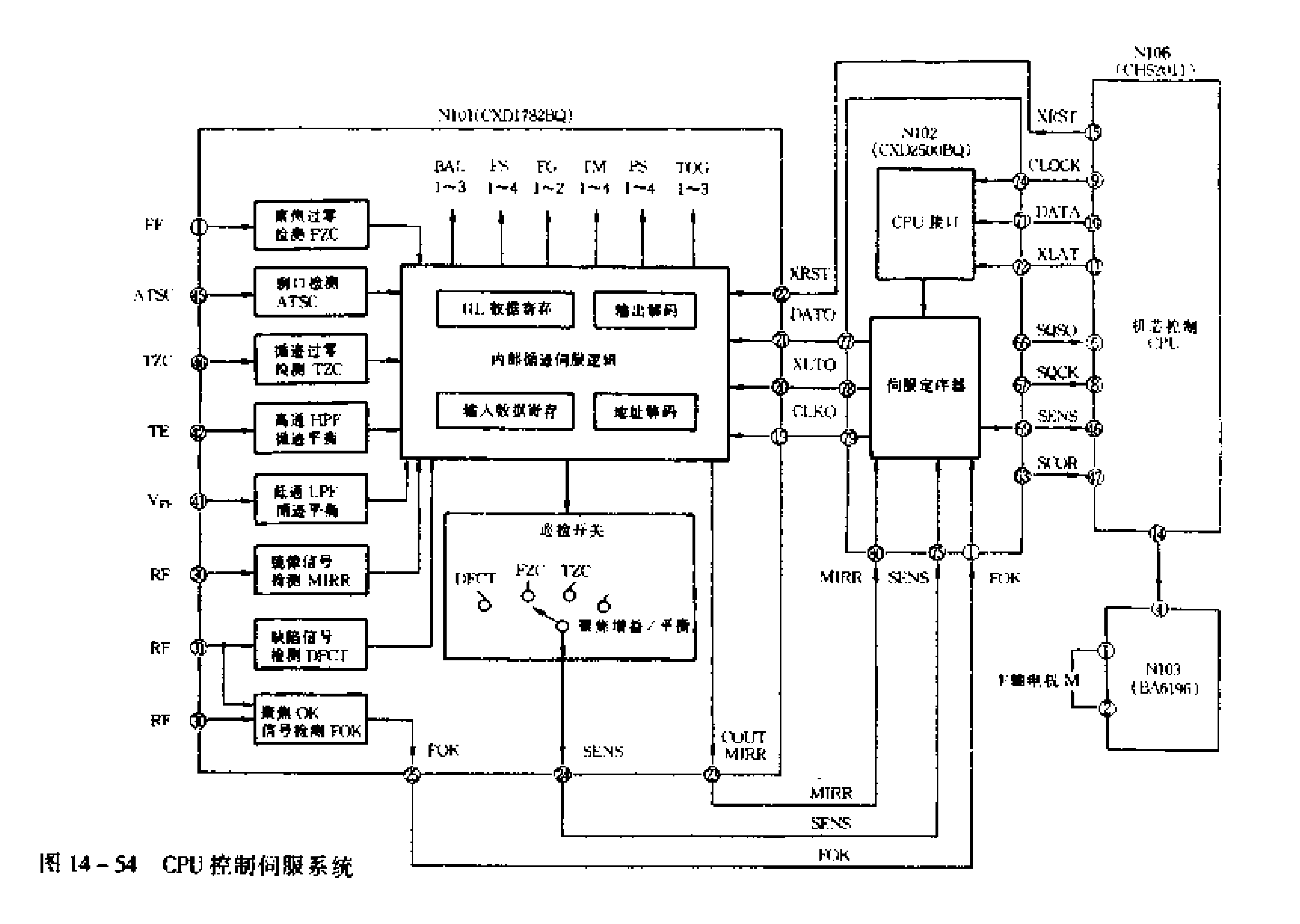


图 14－54　CPU 控制伺服系统

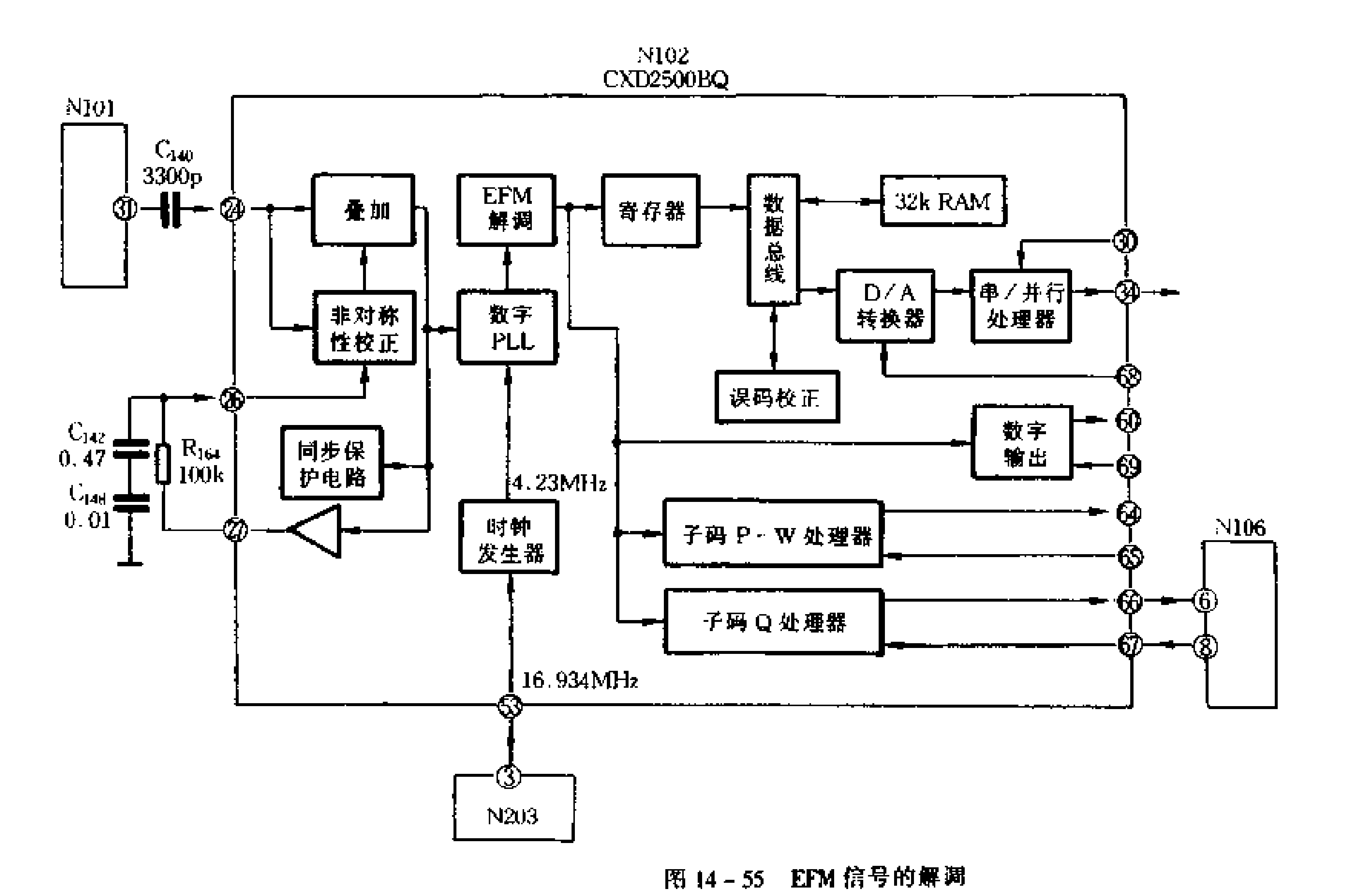


图 14－55　EFM 信号的解调

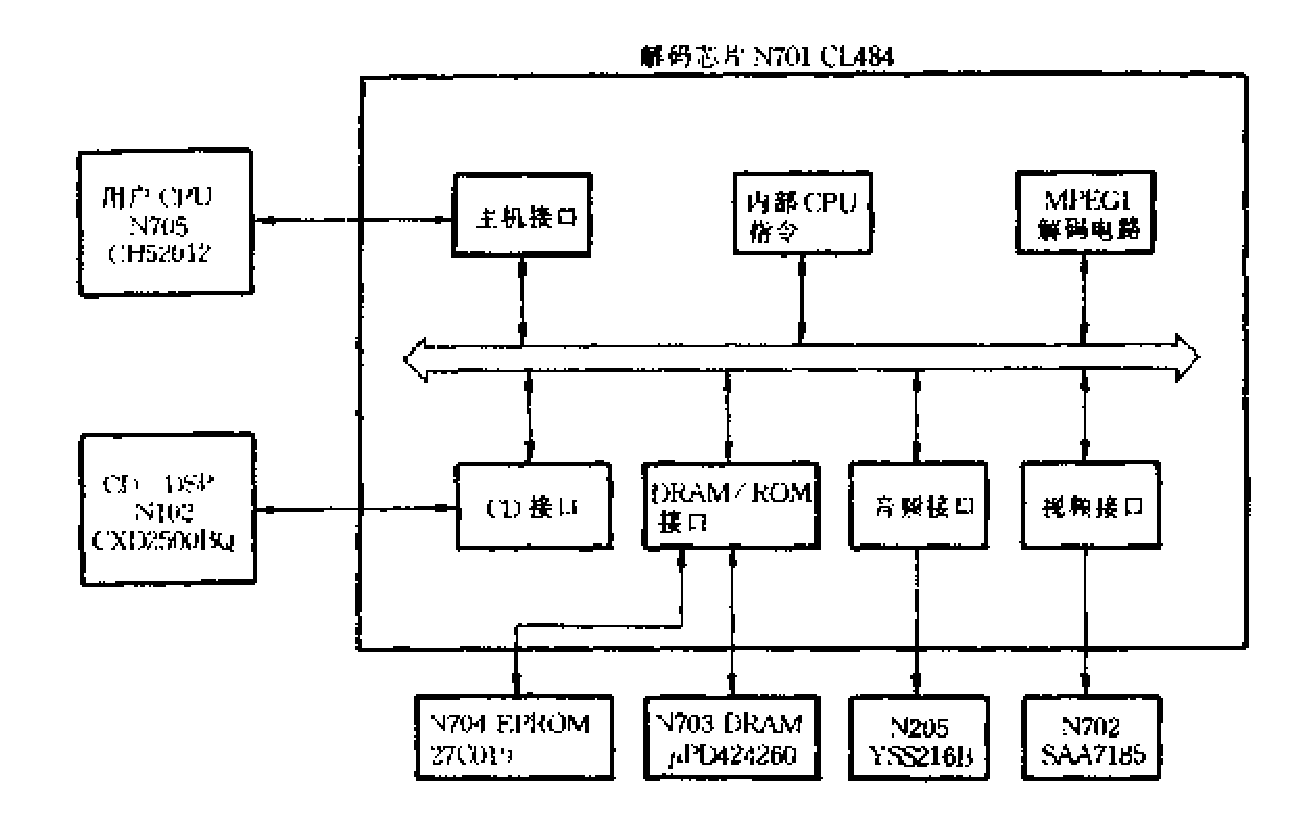


图 14-56　MPEG-Ⅰ解码电路

DRAM/ROM 接口与 DRAM、EPROM 相连，DRAM 存储 CL484 的微指令及音/视频数据，EPROM 存储 CL484 的微码与字符显示数据。

视频接口和 N_{702} 相连，输出解码后的数字视频信号。音频接口向 N_{205} 输出解码后的音频 PCM 信号。

MPEG-Ⅰ的解码过程是：编码音频/视频信号从 CD 接口进入 CL484 内部的码流缓冲器，DRAM 接口从码流缓冲器上写入 DRAM 暂时存放的数据，CPU 协处理器从 DRAM 得到数据，控制解码电路进行解码操作，信号经彩色制式变换再输入 DRAM 暂存，经视频接口输出视频信号。

(9) 数字视频信号的 D/A 转换

从 CL484 解码输出的数字视频信号，需要经过 D/A 变换转化成模拟视频信号，这一过程在 N_{702} 中完成，如图 14-57 所示。

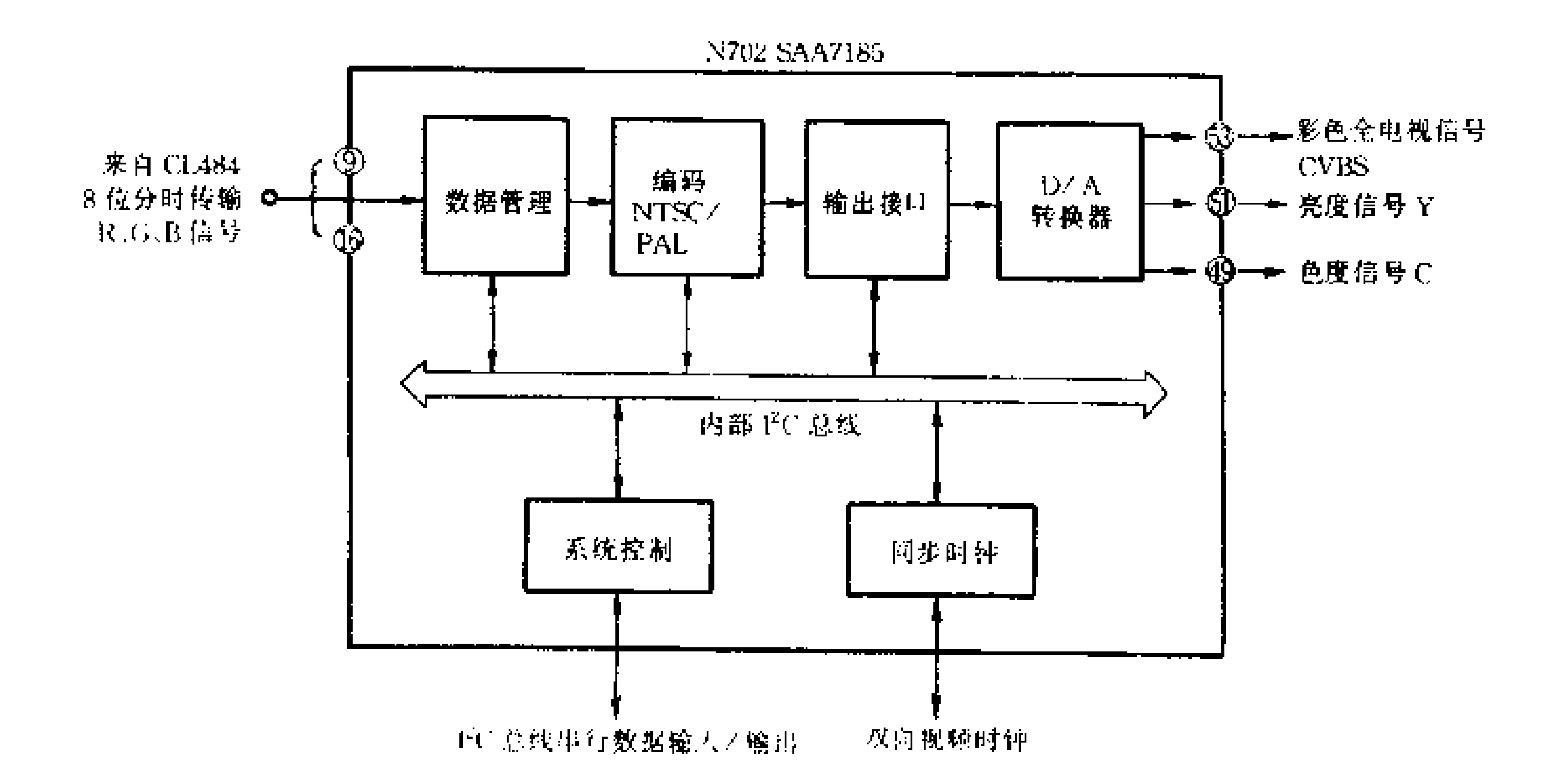


图 14－57　数字视频的 D/A 变换

时分制的 R、G、B 信号进入⑨～⑯脚，在 CPU 控制下，变成同时传输的 R、G、B 信号，然后完成数字式 PAL/NTSC 的编码，并经过输出接口加上复合同步信号，经 D/A 转换器变成为模拟彩色全电视信号从㊸脚输出，并从㊶脚输出亮度模拟信号 Y，从㊾脚输出色度信号 C。至此完成了 VCD 信号的解码及视频信号的输出。

第五节　DVD 影碟机的组成及工作原理

本章第一节中已经介绍了 DVD 机的特点，本节再重点介绍 DVD 机的组成和工作原理。

一、DVD 光盘标准与盘片结构

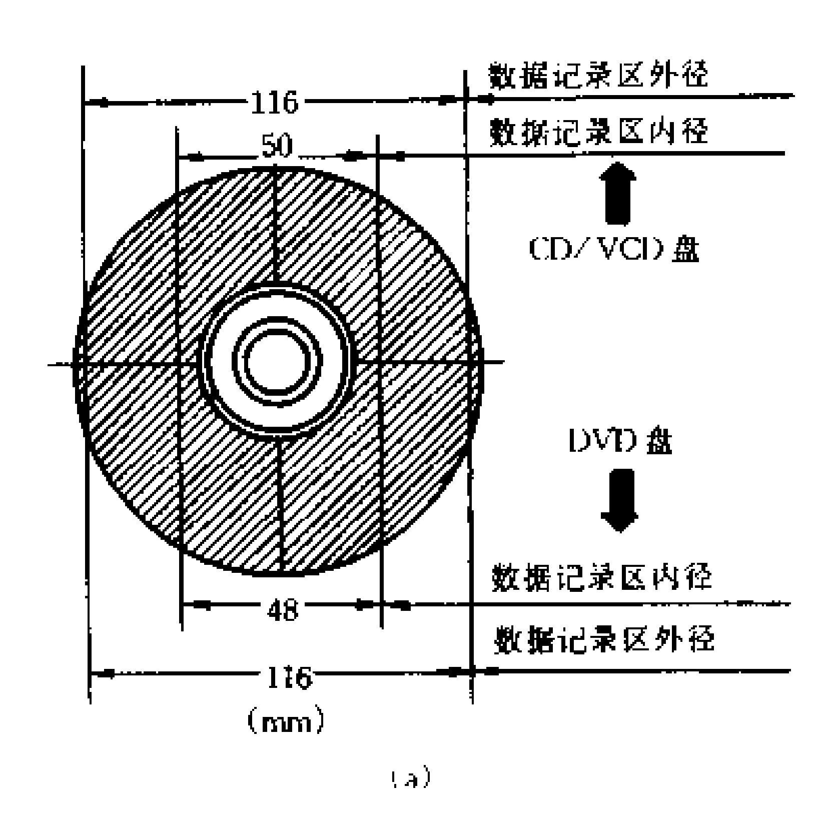
从外观上看，DVD 光盘与普通 CD 光盘和 VCD 光盘没有什么两样，光盘直径为 12cm，厚度为 1.2mm，但它的结构、性能却迥然不同。1995 年 9 月 15 日制订了 DVD 光盘的统一标准，主要特点是：

(1) DVD 光盘使用双层或双面的记录格式，即 DVD 光盘由两张直径为 12cm、厚度为 0.6mm 的基质层相互粘贴而成，利用调整激光焦点的方法，使激光聚焦照射在不同层的信息区上。实际上 DVD 有四种格式，即“单面单层”、“单面双层”、“双面单层”和“双面双层”。一般常用的是单面双层。

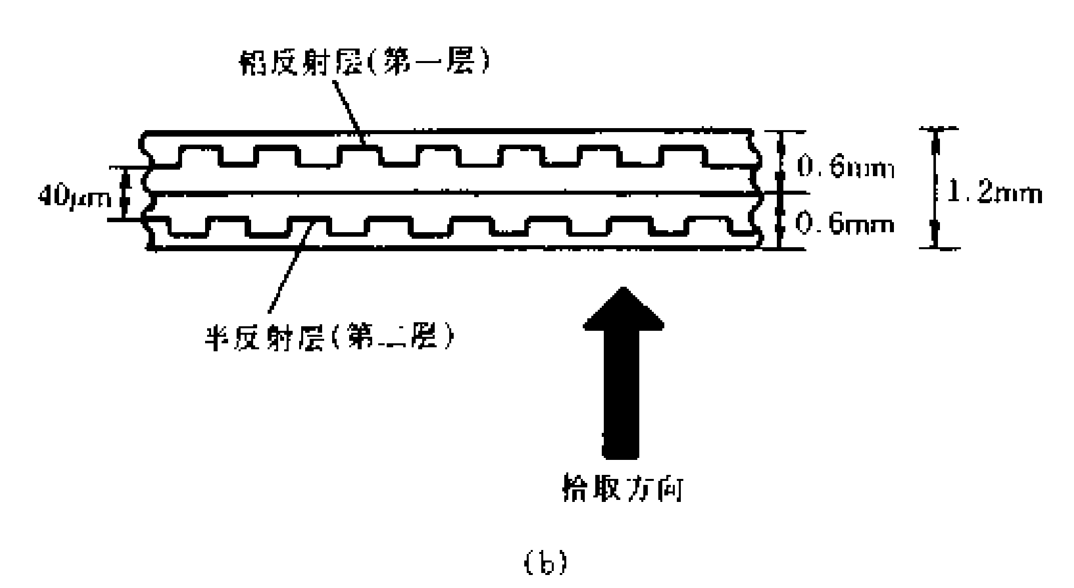
(2) DVD 使用的是波长 $\lambda = (0.635 \sim 0.650)\mu m$ 的激光，由于波长缩短，可使光盘上的信号凹槽在长度和宽度上相应减小，最小凹槽的长度是 $0.4\mu m$，信迹间距为 $0.7\mu m$，这就使 DVD 光盘在有效的空间存放和读取更多的数据资料，记录容量达到 8.5GB(VCD 为 640MB)。

(3) 音频、视频编码标准采用 MPEG-Ⅱ。

图 14－58 示出了单面双层 DVD 光盘的结构。图 14－58(a)中，上面为 CD、VCD 尺寸，DVD 的信息记录区比 CD、VCD 略有增加。图 14－58(b)示出了单面双层 DVD 光盘的结构。从激



(a)



(b)

图 14－58　DVD 光盘结构

光束读取信息的方向去看，上层信号层为第一层，下层信号层为第二层。第二层采用了半透明薄膜，可以使激光束穿过并达到第一层。在 DVD 工作时，激光束先读第一层信迹，读完后再读第二层信迹。图 14－59 给出了 CD、DVD 两种光盘的信迹结构。

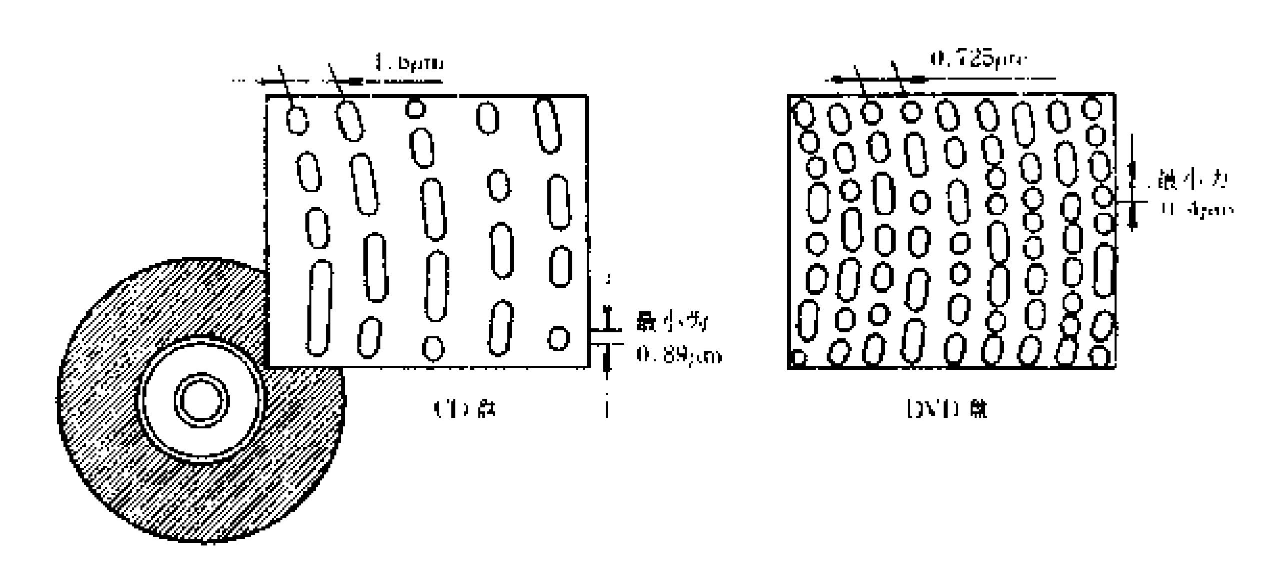


图 14－59　CD、DVD 光盘信迹结构

二、DVD 机的工作原理

1.DVD 机的基本组成部分

DVD 机除了播放 DVD 光盘外，还可兼容 CD、VCD，它的组成框图如图 14－60 所示。

由图可见，DVD 信号处理过程和 VCD 机十分相似。它利用激光头来读取 DVD 光盘凹槽内存储的数字信息，并进行相应的信道解调及解码。DVDP 包括了光头、RF 处理器以及解调/解码器等。信号由光头读取后，送至 RF 处理器进行信号处理，然后根据光盘的种类决定把通道码送入 EFM-Plus 解调还是送入 EFM 解调。此外，还包括伺服系统和机械系统。

VCD/DVD 解码系统的作用是对 CD-DA 串行数据、VCD 串行数据及 DVD 串行数据进行格式化解码和信源解码。在 MPEG

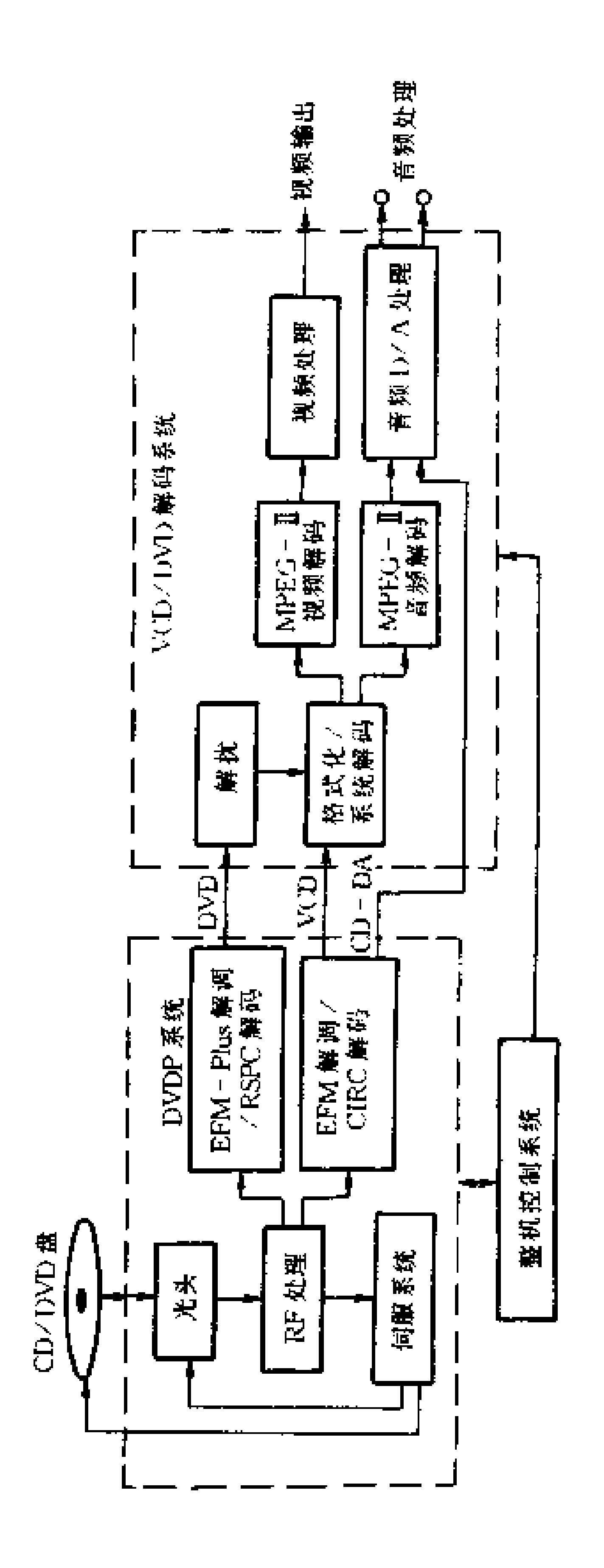


图14-60 DVD机的基本组成部分

视频、音频解码中，包括了 MPEG-Ⅰ 和 MPEG-Ⅱ，解码后的数字音频送 D/A 变换器，恢复模拟音频信号；视频信号送视频处理电路，得到模拟的视频信号并输出。

整机控制系统的作用是执行用户的按键指令，并显示出操作状态，协调各部分电路的工作。

2.DVD 重放信号的处理

图 14－61 示出了 DVD 信号的重放处理过程。

(1) RF 信号的处理

DVD 机的 RF 信号处理电路包括 RF 前置放大、自动增益控制电路、数据限幅和选通等，与 VCD、CD 的 RF 电路基本相同。

(2) 信道码的解调与解码

DVD 机使用的是 EFM-Plus 解调与 RSPC 解码。

(3) 解扰

(4) MPEG-Ⅱ 系统解码

系统解码把多路复用的 DVD 节目还原成原始视频、音频及辅助信号。

(5) MPEG-Ⅱ 视频解码

在 DVD 机中用解码器对视频数据解码，恢复为原始的亮度 Y、C_B 与 C_R。

(6) 子画面的解码

在子画面解码中，对辅助信息将形成画面中的菜单、字幕、卡拉 OK 歌词和一些简单的动画等。

(7) 视频信号输出

一种是复合视频信号输出；另一种是 Y/C 分离高清晰度视频输出(S-VIDEO)。

(8) 音频信号输出

一种是音频数字输出；另一种是模拟 5.1 通道输出。

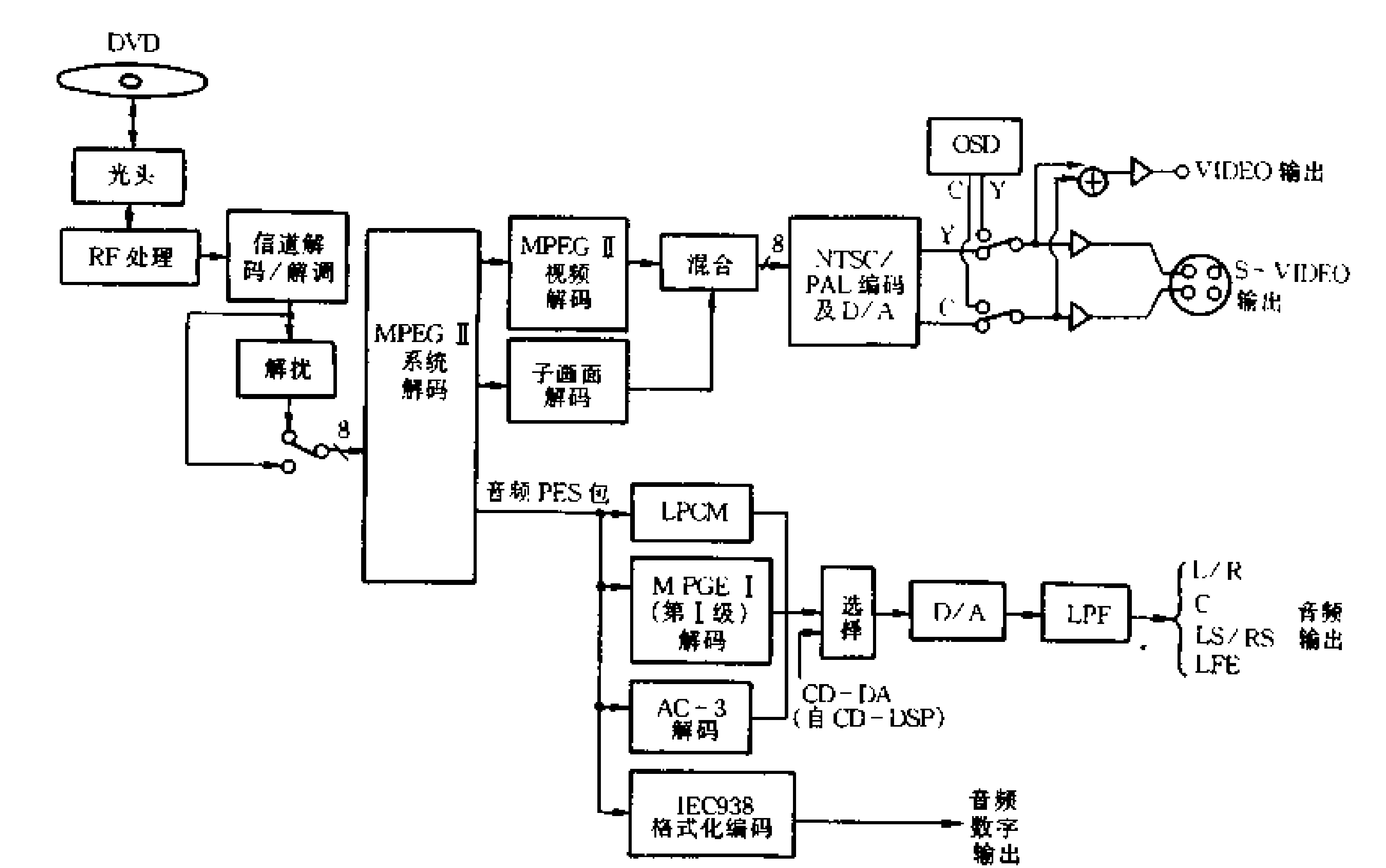


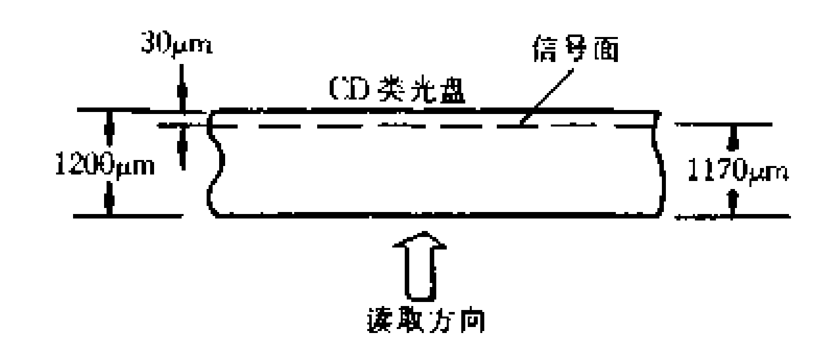
图 14-61 DVD 信号重放处理过程

三、DVD 光头技术

在光盘存储系统中，光头从光盘上读取信息，光束聚焦于光盘的信号面，在正确跟踪信迹的前提下，读出光盘中的信息。光盘中信迹的形式决定了对光头技术的要求。

1.DVD 光头的特点

DVD 光盘上的信迹比 VCD 更小，所以要求读取信迹的光束更细、更精确。DVD 使用的单面双层结构的光盘，第二层为半反射层，在读第一层信号时，光束要穿过第二层，这就要求激光束的功率更强。由于光盘为双层结构，所以 DVD 光头必须具有在 40μm 之间(双层信号面之间)的小间距双焦平面的切换功能。DVD 与 CD、VCD 兼容，这两类光盘的信号面相差约 550μm ~ 590μm，为此，还要求 DVD 光头具有 550μm ~ 590μm 的大间距切换功能，如图 14 - 62 所示。



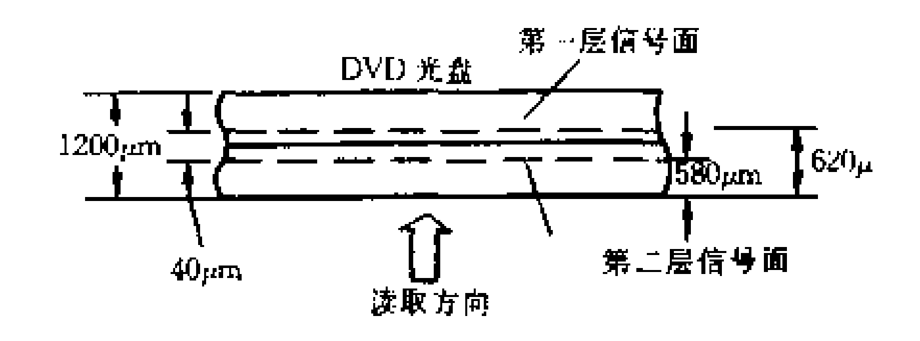


图 14 - 62　DVD 与 VCD 光盘信号面的差别

2. DVD使用的激光器

目前DVD机使用的是波长为635nm的红色半导体二极管激光器。从今后的发展方向来看，应该是波长更短的蓝色二倍频激光器。

3. 双焦距功能的变换

为了读取双层DVD光盘，并与CD、VCD光盘兼容，激光束的聚焦焦距必须有40μm与550μm～590μm的双焦距变换功能。

(1) 40μm的双焦距变换功能

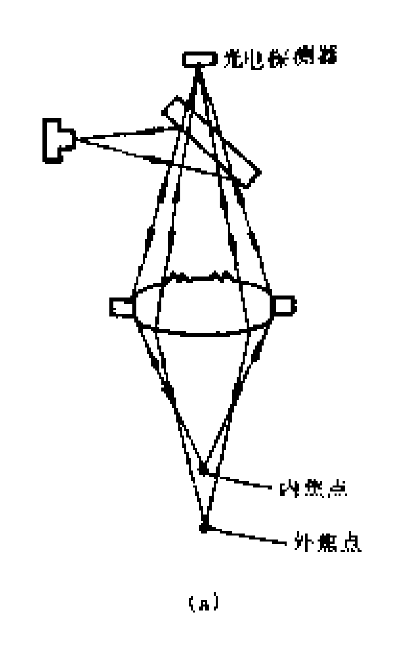
40μm双焦距的切换是读取DVD双层光盘的两个不同信号面所必需的。切换动作通过聚焦线圈驱动透镜上下动作来实现。为了判断光束应处于哪一层信号面上，可通过识别数据中的标志符来确认选择。两个不同层面切换动作需要3ms时间，为了在切换时图像与声音不致中断，在重放通道设置大容量输入缓冲器，以保持数据的连贯性。

(2) 550μm～590μm大间距双焦平面切换

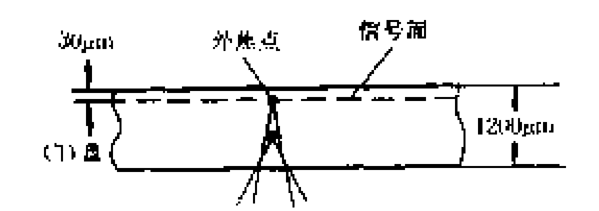
大间距双焦平面切换是为了使DVD与VCD兼容。切换的方法有以下几种：

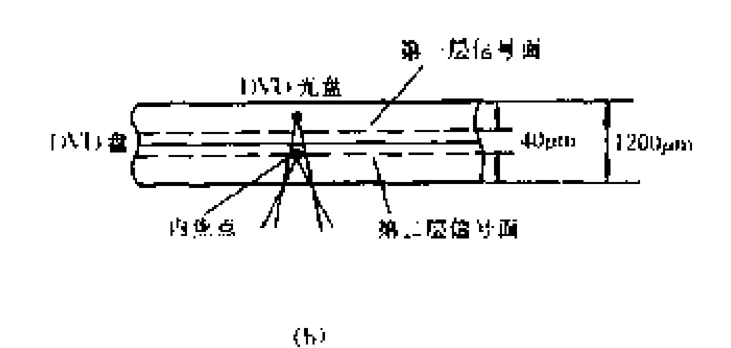
(a) 双焦点透镜技术。图14－63是日本松下公司开发的双焦点透镜技术。这种透镜结构称为全息集成非球面模压玻璃透镜，透镜的结构示于图14－64中。它的特点是在一块非球面玻璃透镜的一个曲面内圆的某一区域内，刻出许多同心圆形槽纹，这些槽纹形成了菲涅尔透镜，使穿过这部分透镜的光聚焦于一点，另一部分光没有穿过菲涅尔透镜而聚焦于另一点，两个聚焦不同，形成了双焦点透镜。

(b) 双透镜转换方式。这种透镜的转换方式是由日本东芝公司开发。在转台上安装了两种透镜，分别适用于CD、VCD和DVD。当放置CD、VCD光盘时，CD聚焦镜头处于工作状态；当



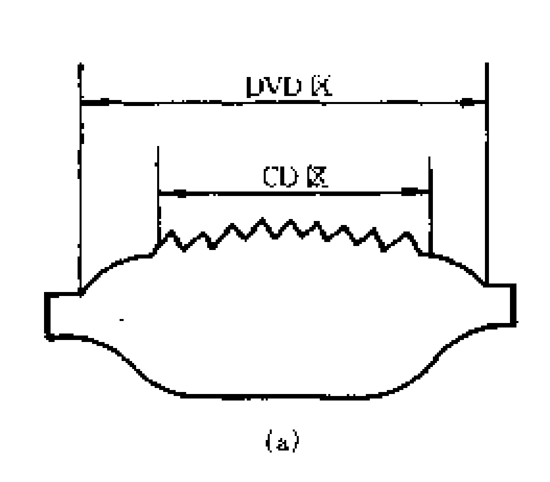
(a)



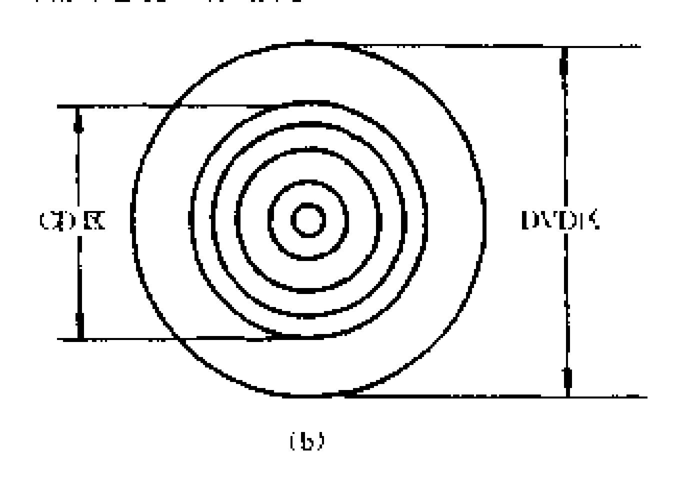


(b)

图 14－63 双焦点透镜工作情况



(a)



(b)

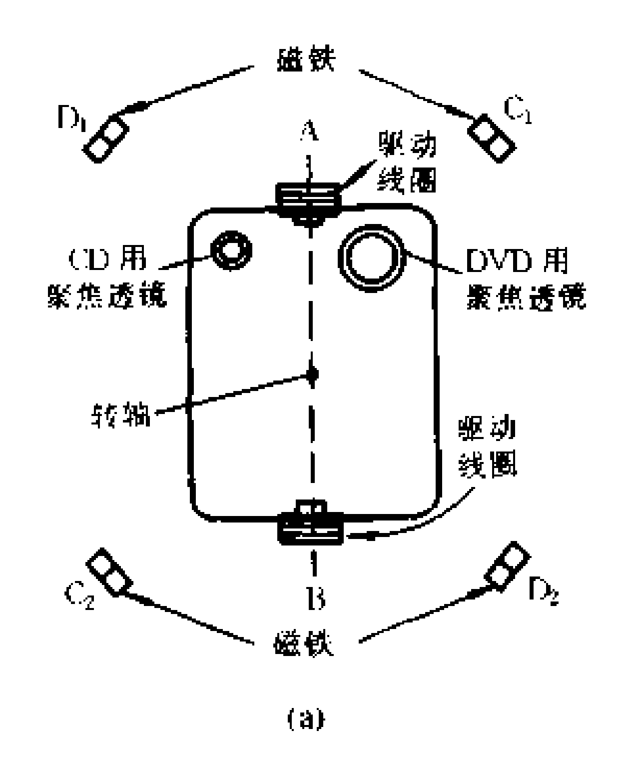
图 14－64 双焦点透镜结构

放置 DVD 光盘时，DVD 聚焦镜头旋转过去处于工作状态。转换是由转台驱动线圈通以驱动电流来实现的。这种转换方式机械结构比较复杂，如图 14－65 所示。

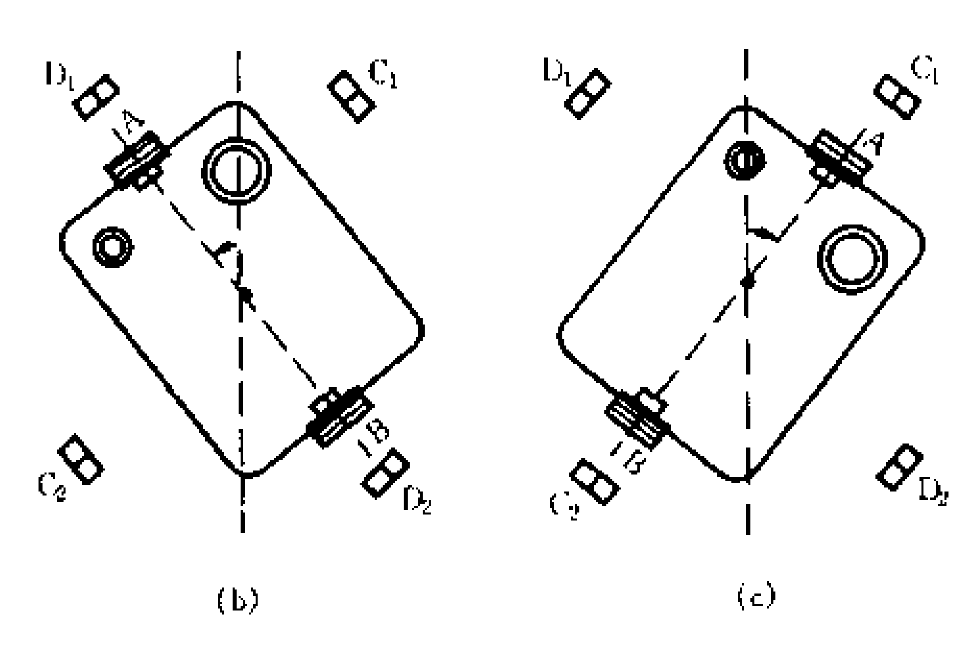
(c) 双光头系统。设置两个光头系统，分别对应着 CD、VCD 和 DVD 的重放。这种方式比较简单，但体积过大。

4. 激光功率可变技术

因为 DVD 光盘与 CD、VCD 光盘结构不同，所以读取信息的光功率也不同。由图 14－66 可见，读 CD 盘时只需 0.25mW 光



(a)



(b) (c)

图 14－65 双透镜转换方式

功率，而在读 DVD 盘时，却要 0.6mW 的光功率。读取不同的光盘，激光束发出的功率也不同，一是为延长激光器寿命，二是为高效率地读出光盘上的信息。

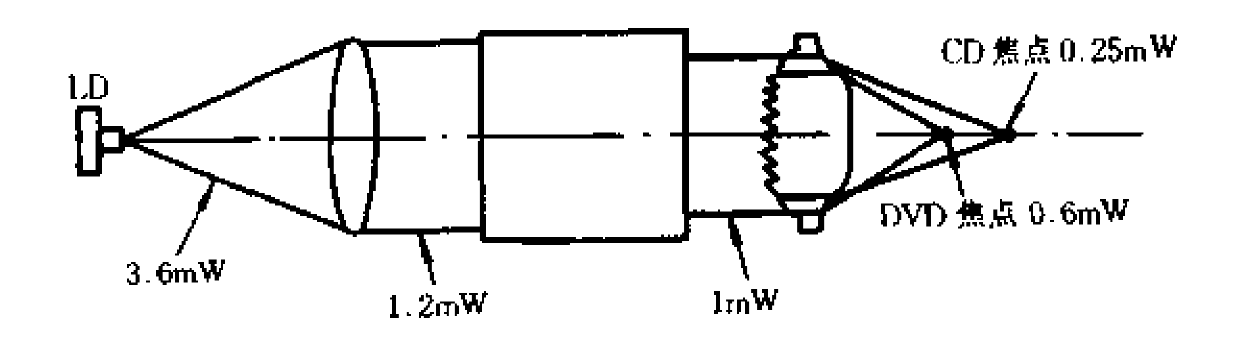


图 14－66 光功率可变技术

四、DVD 伺服系统

DVD 机的伺服系统与 CD 机大体相同，都是由聚焦、循迹、进给及主轴伺服系统组成，它们的基本功能也相同，即保证读数时光束准确跟踪信迹，精确地高速随机存取。但是，由于 DVD 光盘采用了双层结构，信息槽更多，信迹间距更小，所以对 DVD 的伺服系统精度要求也更高，即：

(1) 主轴轴向移动在 0.23μm 以内。

(2) 能把读数光束准确地聚焦于各类光盘上(如单双层 DVD、CD、VCD 等)。

(3) 能适应各种不同的光盘信迹，对各种信迹进行最优处理。因为在重放不同的光盘时，伺服系统的特性不同。

(4) 在光盘信号反射率变化很大的情况下，仍能保持很高的读数精度。

(5) 保证在双层 DVD 之间转换时实现“无缝”播放。

五、DVD 用 MPEG-Ⅱ 解码器的种类

1. 按功能模块集成度分类

DVD 解码中的功能大体上可分为三大类，即：MPEG-Ⅱ 系统解码、视频解码与音频解码。

(1) 多片式解码系统

把上述三种功能电路分开，分别集成。例如先锋公司使用的 PD4696A(用于视频)、μPD61021(系统解码及视频处理)。

(2) 二片式结构

系统解码集成为一块电路，音、视频解码集成为另一片电路。如松下公司的 MN617130(音频处理)与 MN67740(系统解码、视频处理)。

(3) 单片式结构

具有代表性的有现代电子的 HDM8211、NEC 公司的 μPD61021 及东芝公司的 TC81200F 等。

2. 按实现功能过程的原理分类

按 DVD 实现解码的方法不同，可分为布线逻辑型与 DSP 或 RISC 内核型两大类。

(1) 布线逻辑型

这种电路的特点是采用布线逻辑实现解码功能，工作频率低(≤40MHz)，功耗也低(不大于 1.1W)，可采用塑料封装，缺点是扩展解码功能的灵活性差。

(2) DSP 或 RISC 内核型

由于解码功能以程序形式记录在 ROM 中，所以只要改变或更换 ROM 就可以扩展或改变解码功能，因此使用方便，缺点是功耗大且价格高。

第六节　LD 影碟机的组成及工作原理

一、LD 光盘

1. LD 光盘的特点

LD 光盘是由两片单面光盘粘合而成，但它与单面双层的

DVD 盘不同，LD 光盘为双面双层，一面播放完后，再换另一面播放，它的结构见图 14－67。

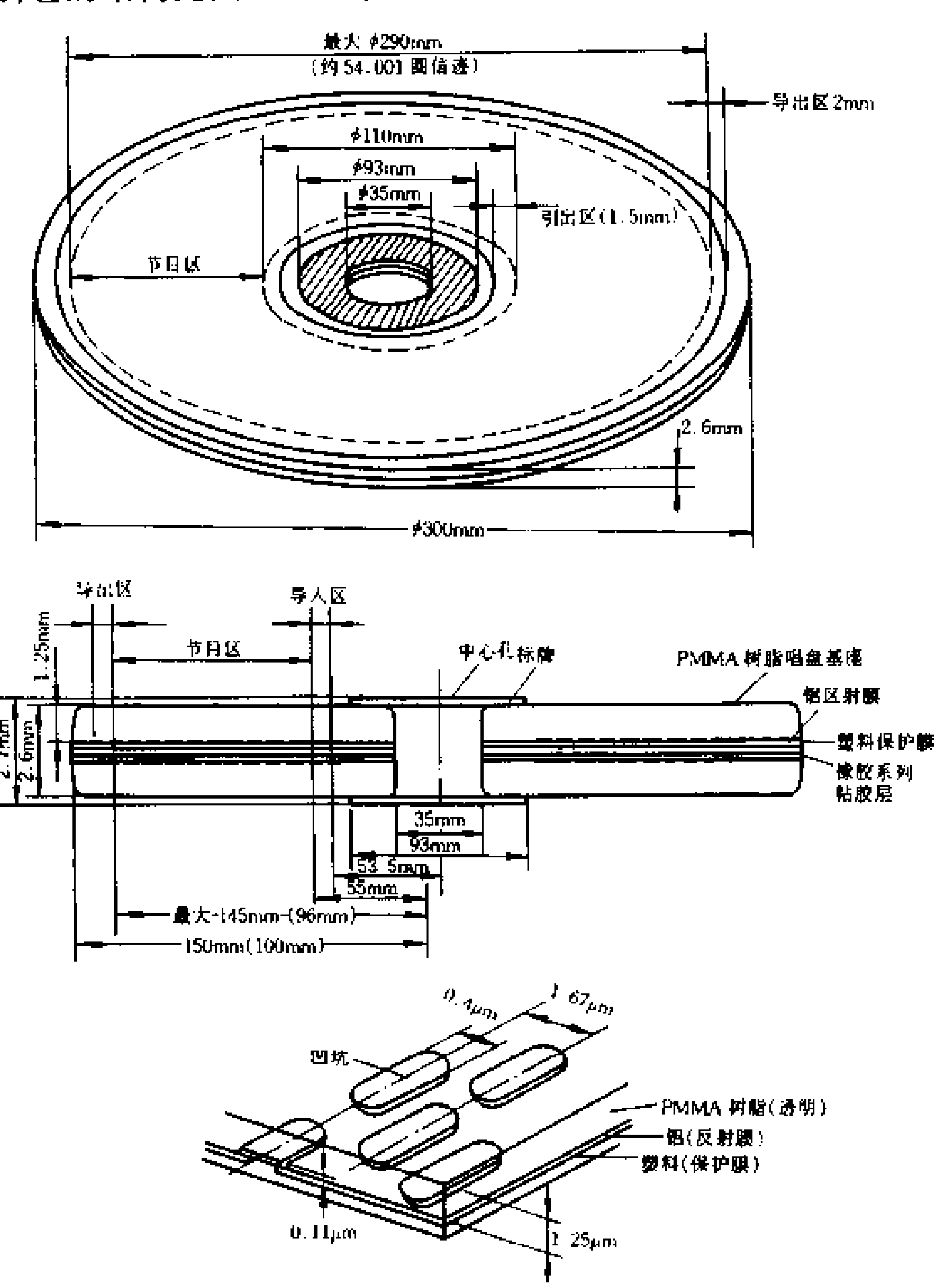


图 14－67　LD 光盘结构

(1) CAV 方式

CAV 是 Constant Angular Velocity 的简写，意为等角速度。CAV 方式的光盘在放送时转速不变，它的每一圈都记录了一帧画面，因为外圈尺寸比内圈大，所以内外圈记录密度不同。一个直径 30cm 的 CAV 方式的 NTSC 制 LD 光盘，在一面上大约有 54000 圈信迹轨道，LD 光盘的转速为 1800r/min，所以单面可放半个小时。CAV 方式的 LD 光盘实现静像很容易，只要激光头停止在某一帧上不动，光盘不停地旋转就可以连续地使图像静止。另外，实现快进、快退也很容易，只要快速移动激光头即可。CAV 光盘结构见图 14-68。

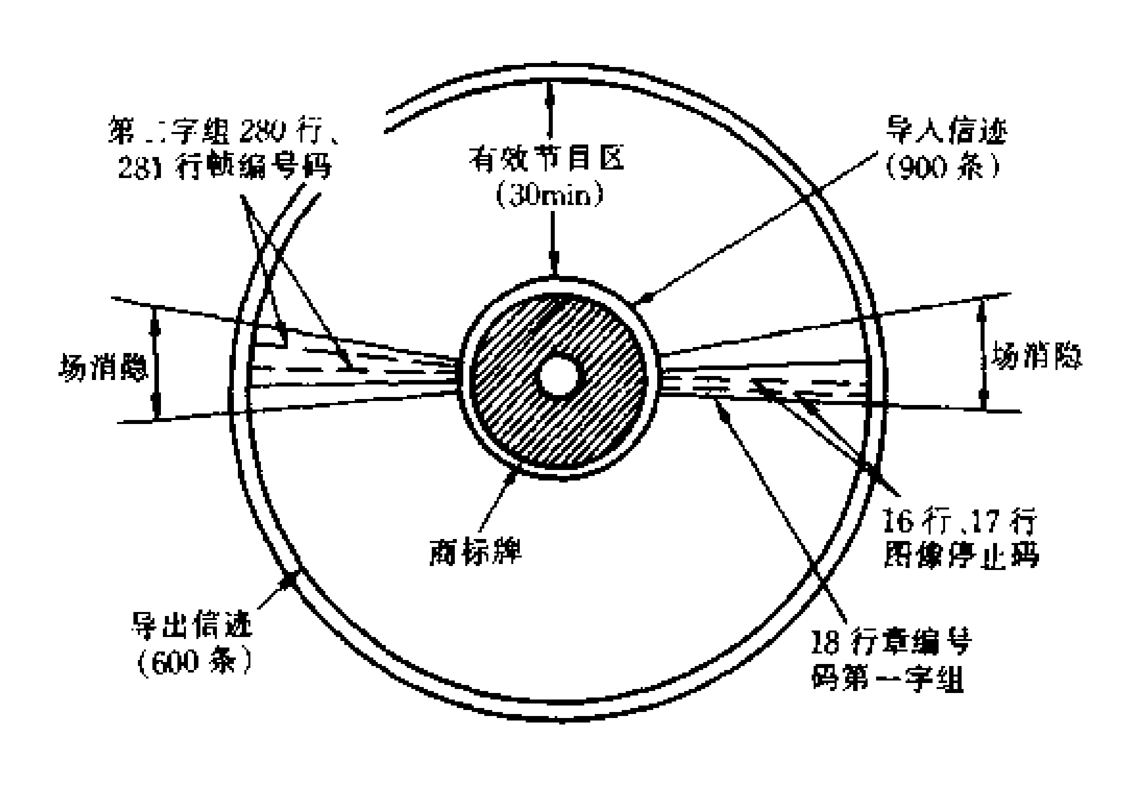


图 14-68 CAV 方式的 LD 光盘

(2) CLV 方式

CLV 方式的特点是 LD 光盘重放时保持光头与信迹之间的线速度不变，这就意味着光盘的转速时刻都在变化着。当光头读内圈时，LD 光盘旋转较快；当光头读外圈时，LD 光盘旋转速

度较慢。这样，就保证了光头在相同的时间内扫过光盘上的信迹长度相等。CLV 方式的最大优点是记录信号密度均匀而且比 CAV 方式记录的内容多。CLV 方式在内圈时每圈只记录一帧(两场)信号，而在外圈时每圈记录 3 帧(6 场)视频信号，如图 14-69所示。

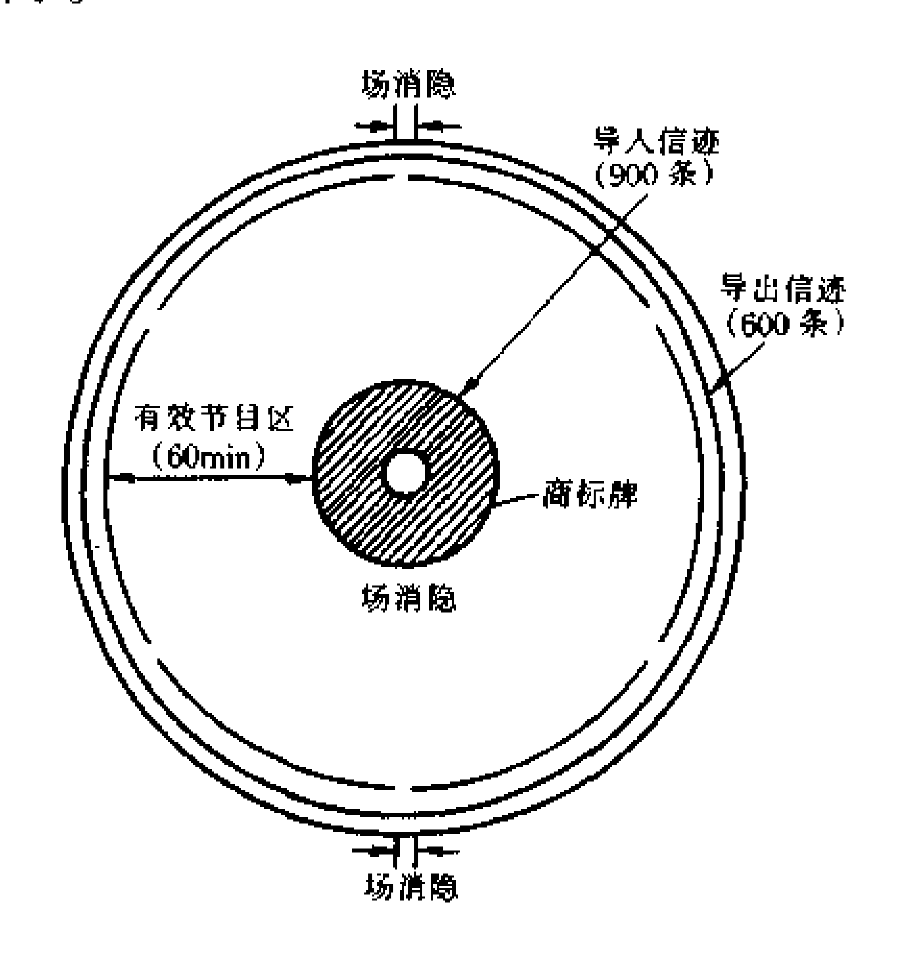


图 14-69 CLV 方式的 LD 光盘

CLV 方式、直径 30cm 光盘的线速度保持在大约 11m/s，单面 CLV 方式的光盘大约可播放 60 分钟节目。它的最大缺点是不容易实现静像。

(3) LD 的技术标准

以直径 30cm 的 LD 光盘为例，国际电工委员会制订了 IEC856 标准(625 线/50Hz，PAL/SECAM)及 IEC857 标准(525 线/60Hz，NTSC)。

盘片外经:30cm

盘片厚度:2.6mm

折射率:1.5

静态翘曲:3mm(最大)

CAV 方式:1800r/min(NTSC)

1500r/min(PAL)

CLV 方式:10.1m/s ~ 11.4m/s

重放时间:双面 60min(CAV),120min(CLV)

信迹间距:1.67μm

凹槽宽度:0.5μm ~ 0.6μm

单面信迹条数:54000

时基误差:10μm(最大)

频带宽度:13.5MHz

图像调频:同步项 7.6MHz,黑电平 8.1MHz,白电平峰值 9.3MHz

声音调频:通道 1:2.3MHz

通道 2:2.8MHz

频偏:± 100kHz

数字音频:频带 0kHz ~ 20kHz,采样频率 44.1kHz。

量化位数 16 比特

数据传输率 4.3218Mb/s

调制方式　EFM

纠错方式:CIRC

2.LD 光盘的信号记录方式

在 LD 光盘上记录的信息为彩色全电视信号、模拟音频信号、数字音频信号及辅助信号等。

(1) LD 信号记录原理

图 14－70 示出了 LD 的记录原理。

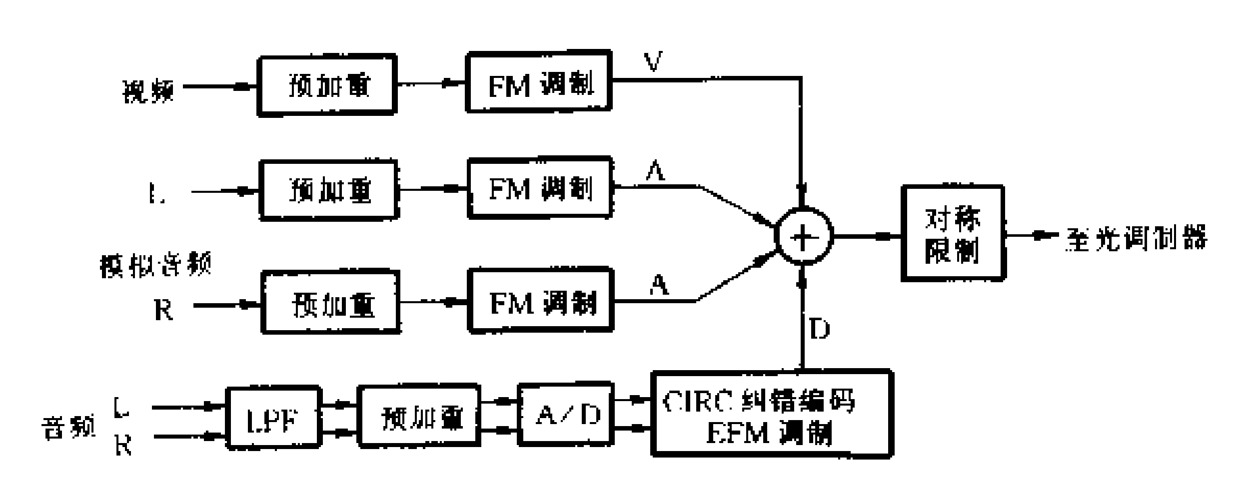


图 14－70　LD 记录原理

视频信号为振幅变化的电压信号，经调频（FM）后变成振幅不变的调频信号；同样地，左右两路音频信号经调频处理后也变成了振幅不变的调频信号，二者相加后得到一个混合信号，经对称限幅后，变为脉冲宽度可变的调制信号，然后再把它送到激光头中，在 LD 光盘上形成相应的信号凹槽，如图 14－71所示。这些凹槽与 CD 光盘上的凹槽类似，但二者却有本质的区别。

光盘的写入过程是在工厂中制造母盘时完成的，用户使用光盘时，只能重放已录制好的节目。

图 14－72 是 LD 光盘记录的音视频及数字音频的频谱分布情况。其中视频调频波大约占 10MHz 左右，左右声道占 2.2MHz ～2.9MHz，0MHz～2MHz 为数字音频信号。

(2) LD 光盘的记录格式

在 LD 光盘上除了录有节目内容外，还有表示章、帧的辅助信息。

(a) 有效节目区是指 LD 光盘上记录节目内容的区域范围。如 CAV 方式、直径 30cm 的 LD 光盘，有效节目时间为 30 分

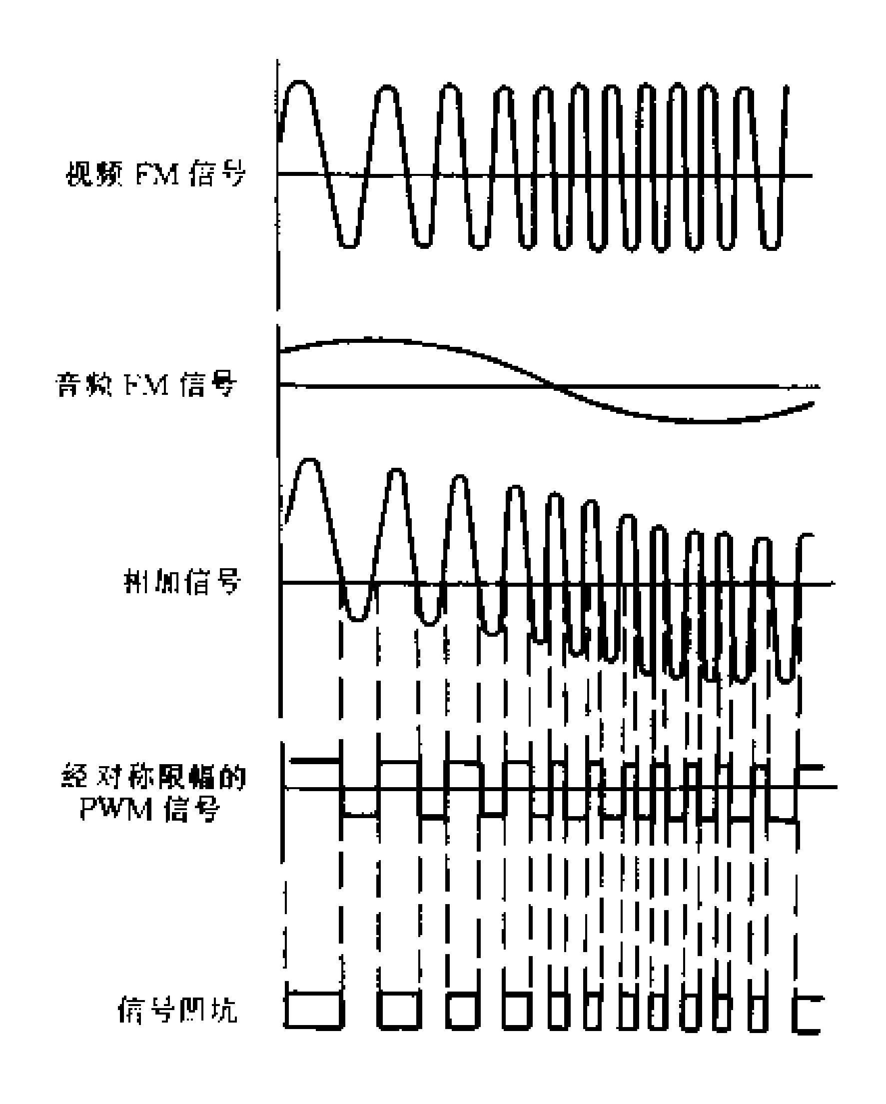


图 14－71　音视频信号的混合及光盘上的信迹

钟。

(b) 帧编号。在 CAV 方式下，为了识别具体的帧而加以编号，从 1 开始顺序增加。

(c) 时间编号。在 CLV 方式下，为了识别重放时间，用时、分、秒表示。从 00 时 00 分 00 秒开始，重放时可显示时间。

(d) 章编号。在 CLV 与 CAV 方式下，把有效节目区分为许多节目块，各节目块作为一个单位使用，称为章。

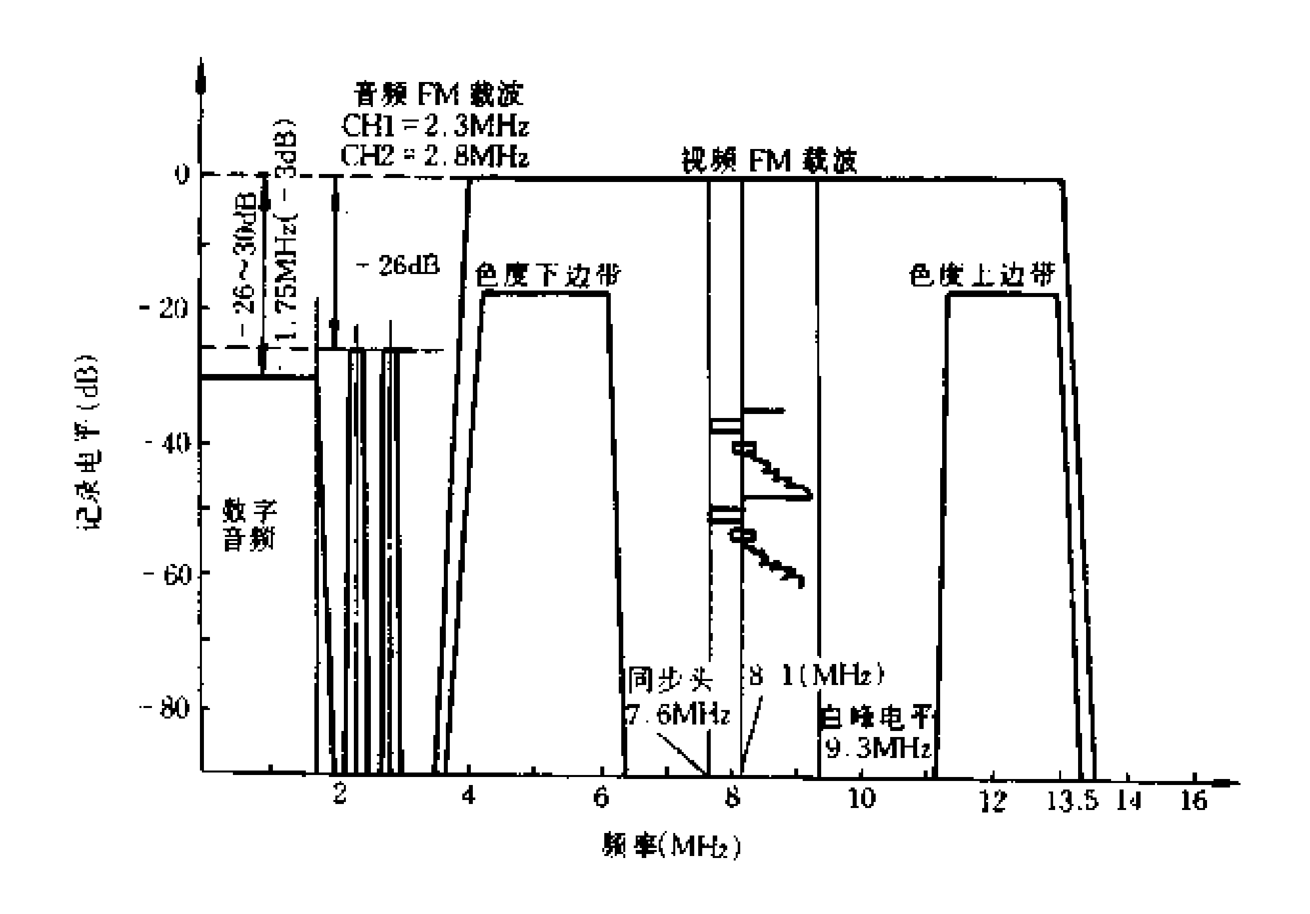


图 14－72　LD 光盘上的音视频信号频谱分布情况

二、LD 机的基本组成

LD 机与 CD、VCD、DVD 有所不同，前面介绍过的几种光盘机均为数字信号方式，而 LD 机却是以模拟信号方式工作的。

1.LD 机的主要单元电路

LD 机主要由激光拾取系统(激光头)、重放信号处理、伺服电路、机械系统、整机控制与电源等几部组成，如图 14－73 所示。

2. 激光头

LD 机通常采用三光束光头。激光器为半导体激光二极管，工作波长为 780nm，输出功率为 5mW～35mW，材料为镓铝砷。它的特点是体积小、重量轻、工作电压低(2V～3V)、转换效率高

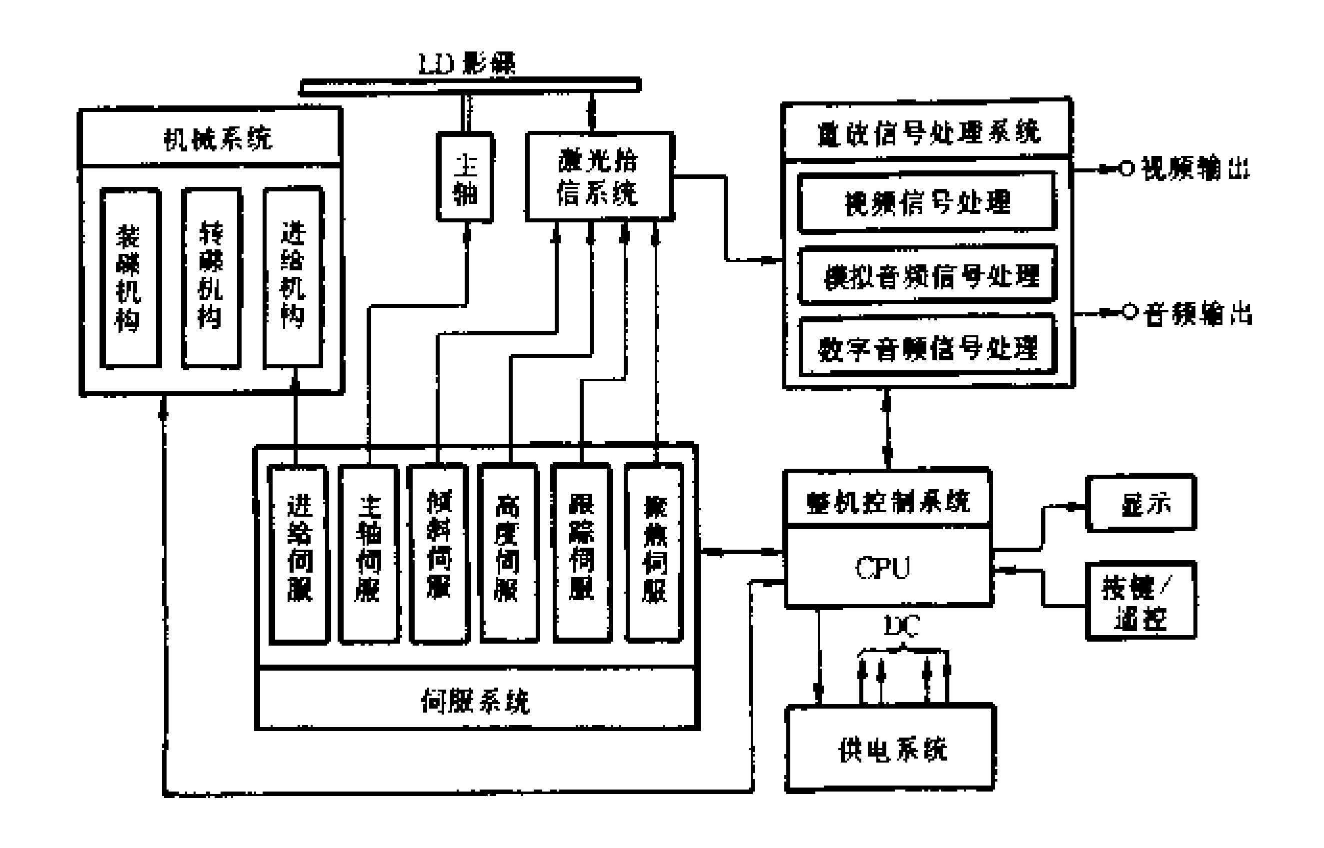


图 14－73　LD 机结构框图

(10%左右)、寿命长(约 1 万小时)。

图 14－74 为 CLD-3030 型 LD 机使用的激光头组件结构。组件内部有半导体激光器、光学系统、聚焦与跟踪调节机构、光电检测集成电路(即 IC1 PA0032)、倾斜感应器等。

3. 伺服系统

由于 LD 光盘的直径(30cm)比 CD、VCD 光盘大得多,因此它在高速旋转时会产生较大幅度的抖动和倾斜,需要通过伺服电路来解决。

LD 伺服系统包括主轴伺服、聚焦伺服、切向跟踪伺服、径向跟踪伺服、进给伺服、高度伺服、倾斜伺服等。

(1) 聚焦伺服电路

LD 机中聚焦深度约为 ± 2μm。当 LD 光盘高速旋转时,会产生上下波动,要保证光束焦点始终落在信迹上,就需要采用聚

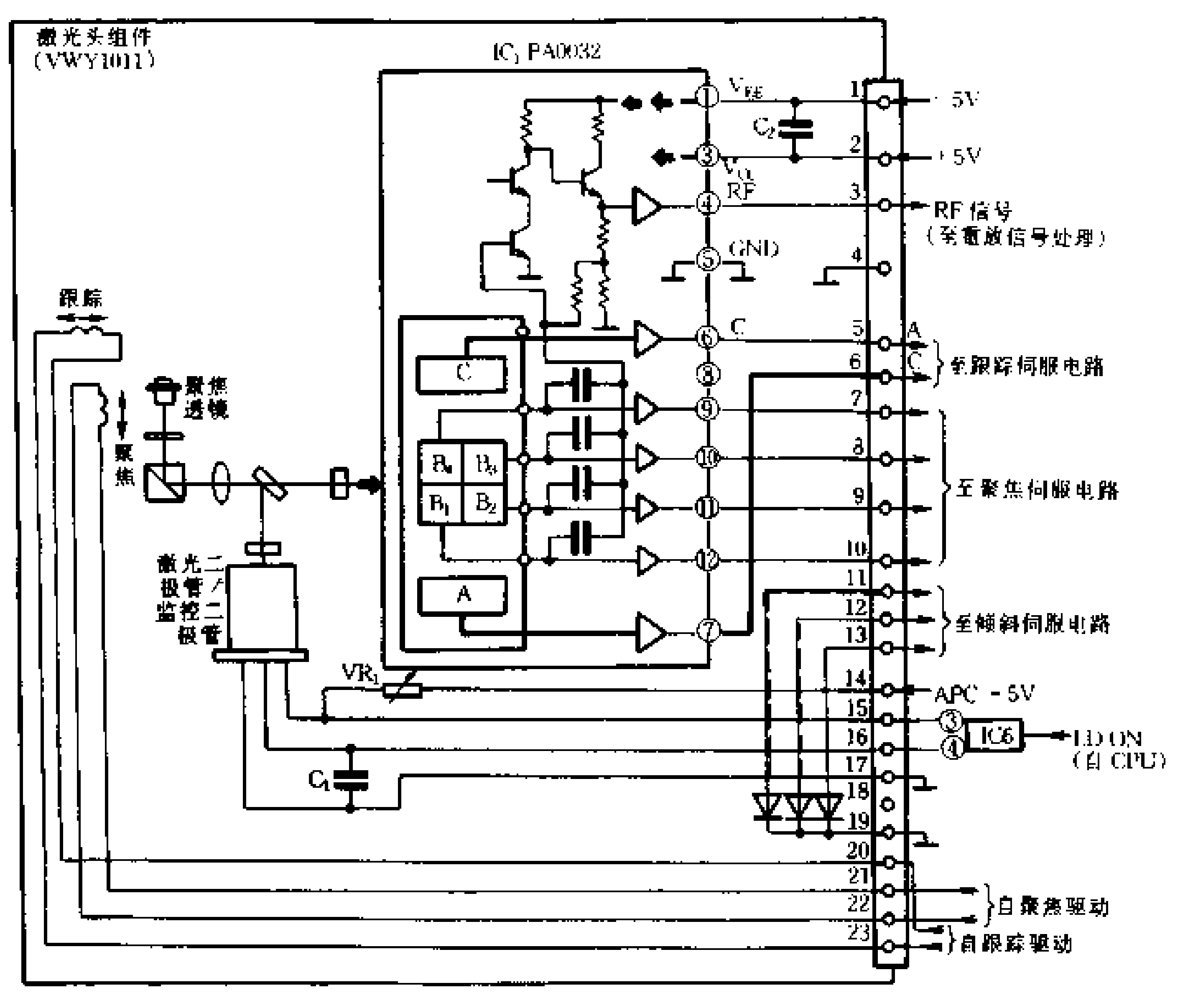


图 14-74 LD 光头组件结构

焦伺服电路。如图 14－75 所示。

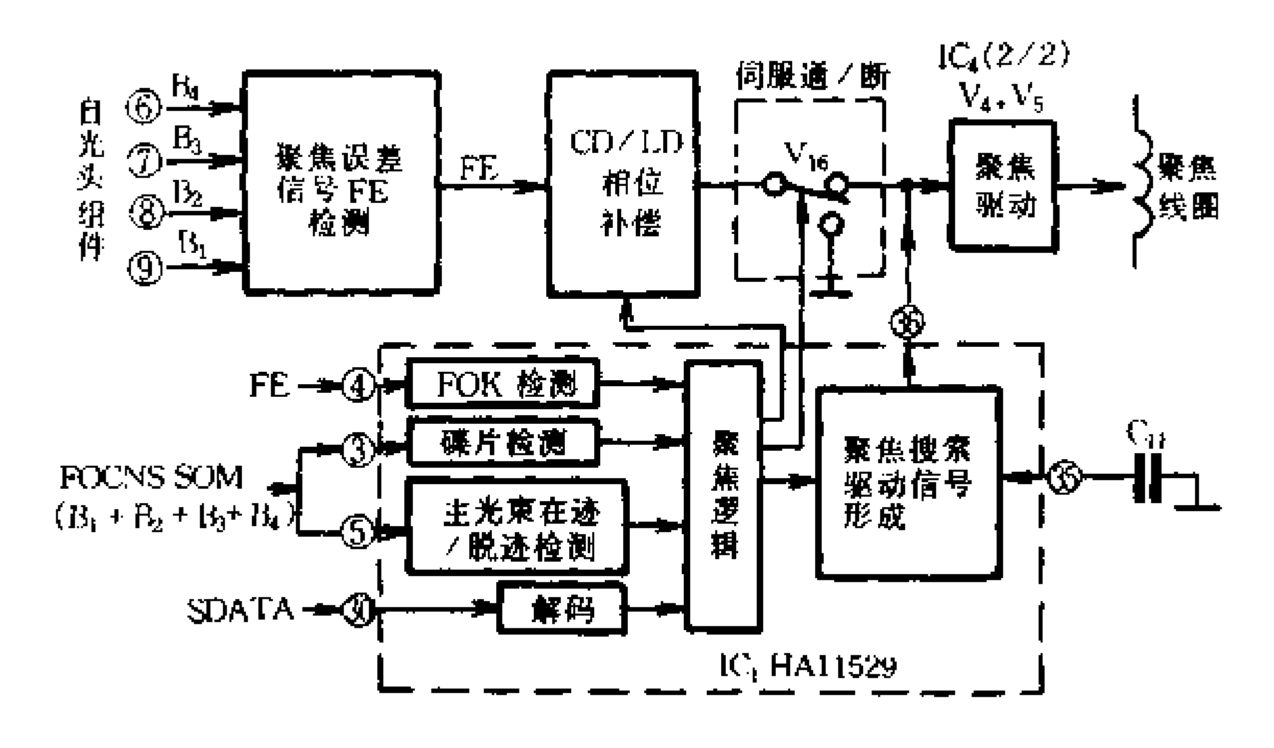


图 14－75　LD 聚焦伺服电路

刚开机时，光盘信号面一般不会落在光束焦点上，所以此时进行聚焦搜索，进行大幅度升降，使光束焦点落在 LD 光盘信号面上。具体过程为：开机后，整机控制 CPU 送来聚焦搜索命令，送入伺服电路 IC1 HA11529 的㉚脚，然后让伺服通断开关 V16 接地，把聚焦伺服电路断开，由 IC1 ㉟脚输出聚焦搜索信号（为锯齿波信号），驱动聚焦透镜大幅度上下移动，此时由光电检测输出的信号送到 IC1 的③、④脚，若聚焦良好，则形成 FOK 信号并控制㊱脚、输出，使聚焦驱动立即停止，结束聚焦搜索，同时 V16 开关把聚焦伺服电路接入，进入聚焦伺服方式。

（2）循迹伺服电路

LD 机的循迹伺服（跟踪伺服）包括径向跟踪伺服与切向跟踪伺服。

（a）径向跟踪伺服。由于 LD 光盘在制造时允许有 100μm ～200μm 偏心误差，需要在重放时随时进行纠正。

(b) 切向跟踪伺服。LD 光盘在装盘时，主轴与光盘圆心不可能完全重合，光盘在制造时也会有很小的偏心，在光盘高速旋转时不但会造成径向跟踪误差，也可能出现在同一圈信迹上各点线速度不同的现象，因此切向跟踪也需要调整。校正方法一般不采用伺服电路，而是在重放电路中利用时基电路进行校正。

(c) 实际的跟踪伺服电路，如图 14－76 所示。从光头组件输出的光电流信号加在跟踪误差（TE）检测电路的⑤、⑥两脚上、经相减、放大形成跟踪误差信号从第⑦脚输出。TE 信号经过 LD 及 CD 的相位补偿电路输出到跟踪驱动电路，到底使用哪种相位补偿，由光盘检测结果来决定，再由集成电路 IC1（HA11529）内部开关 S1 进行选择。决定是 LD 还是 CD 后，从⑩脚输出到跟踪驱动电路，驱动跟踪线圈，使光头跟上信迹轨道。

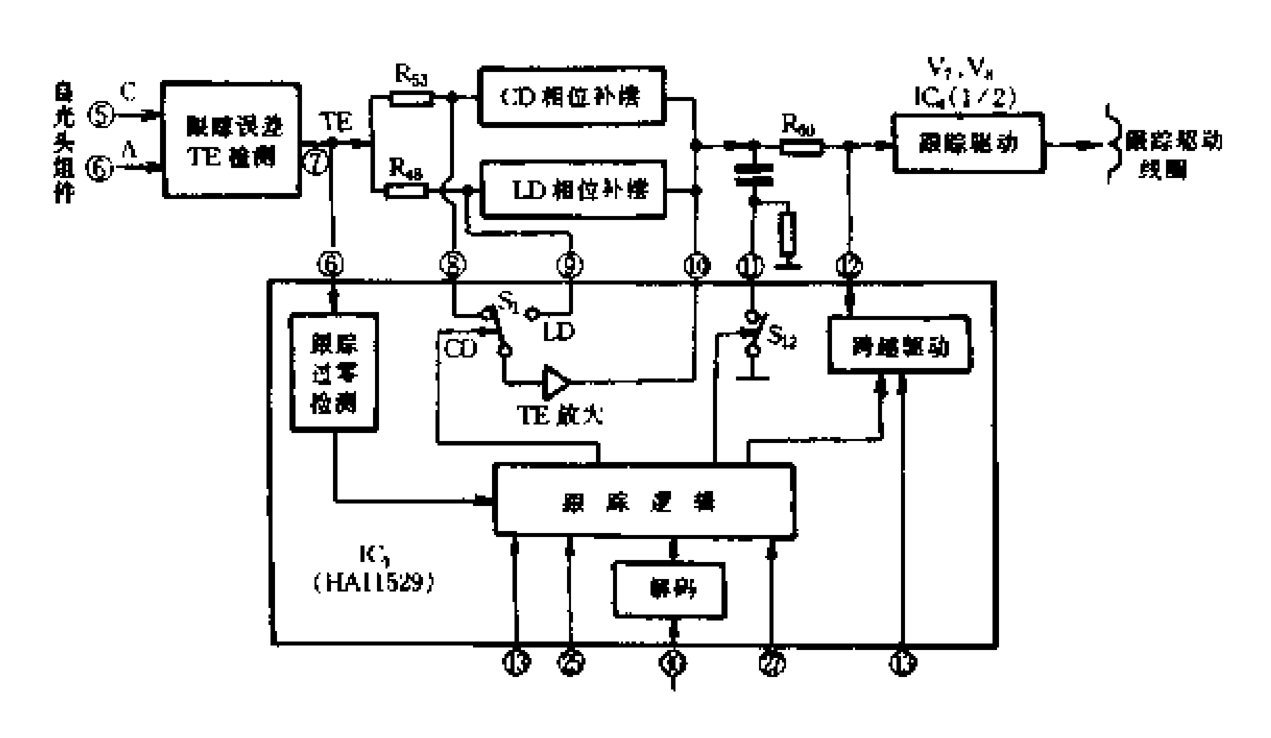


图 14－76 跟踪伺服电路

在进行随机播放时，有时要使光头在很短的时间内从正在读取的信迹处向内或向外跨越几条或几百条信迹。此时，开关S_{12}打开，把跟踪伺服断开，然后从第⑫脚输出跳转信号直接送到驱动电路，驱动光头按跳转信号进行跳转。跳转到要求位置后，再接通伺服电路并断开⑫脚的输出。

(3) 进给伺服电路

进给伺服电路的作用是使光头移动到所需位置上，当移动距离不大时，由跟踪伺服电路完成，当移动距离较大时，则由进给伺服电路完成。实际的进给伺服电路如图 14－77 所示。

进给伺服电路的输入信号为跟踪误差信号，经相位补偿后，从⑬脚输出到进给驱动电路，驱动进给电机转动，达到进给目的。

进给电机有不敏感的死区，只有当驱动电压超过死区电压后，进给电机才会转动，所以激光头为间歇式进给。

(4) 倾斜伺服电路

LD 光盘直径较大并较重，在高速旋转时，光盘呈现伞状，激光束照射光盘表面时，会使光束与盘面互不垂直，影响信息的读出。为此，安装了倾斜伺服电路，使光束能准确地读出信息。

倾斜伺服电路由倾斜传感器、伺服电路、倾斜纠正电机及传动装置组成。

倾斜传感器由一个发光二极管与两个光电二极管组成。发光二极管发出的光经 LD 反射后被光电二极管接收，转换成电压信号。当 LD 光盘倾斜时，反射到两只光电二极管的光通量有差别，利用两管之间的电压差，由倾斜伺服测出倾斜水平，并使 LD 光头产生相应的倾斜，保持光束与 LD 光盘的垂直。倾斜传感器的结构如图 14－78 所示。

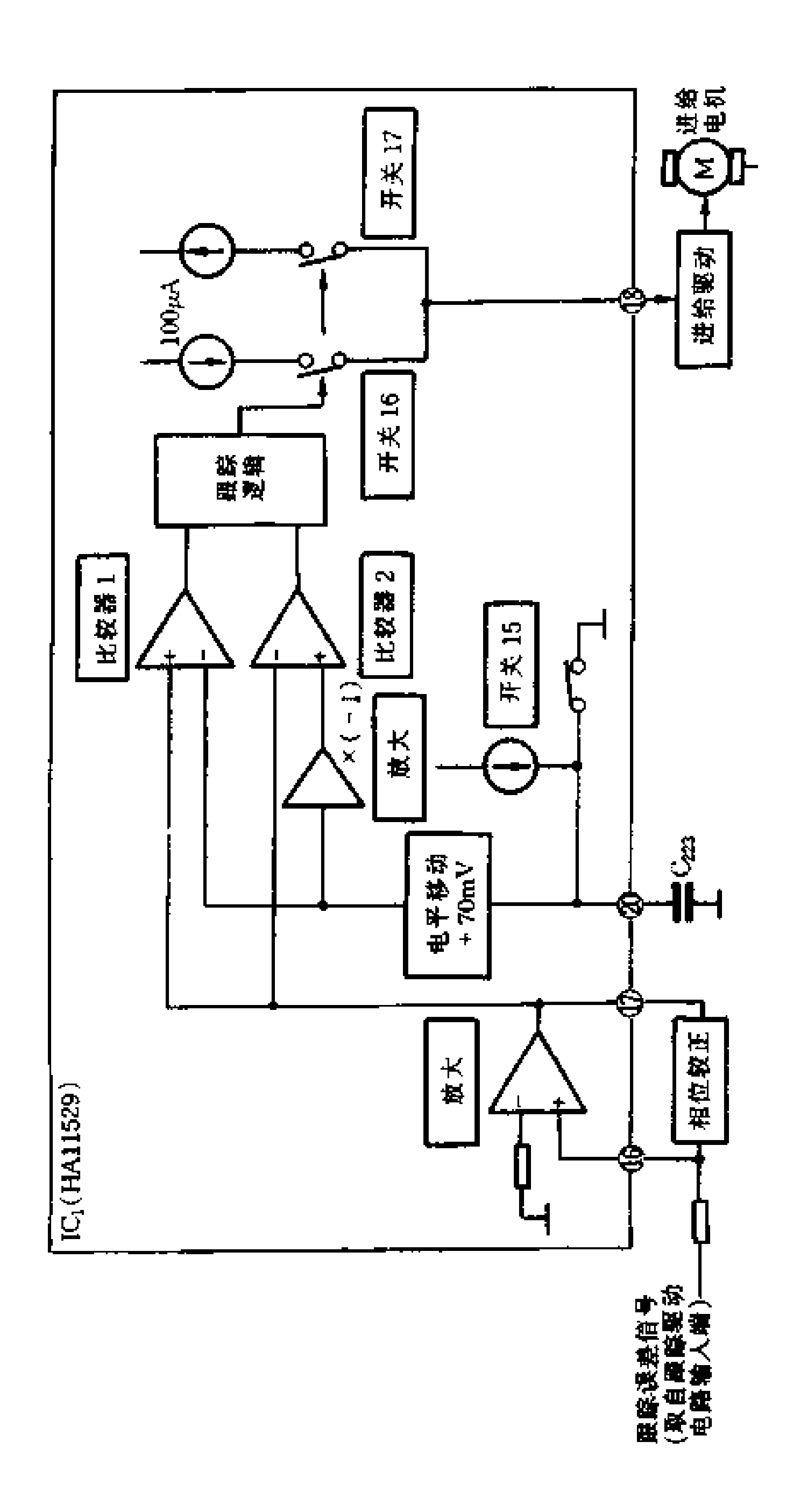


图14-77　进给伺服电路

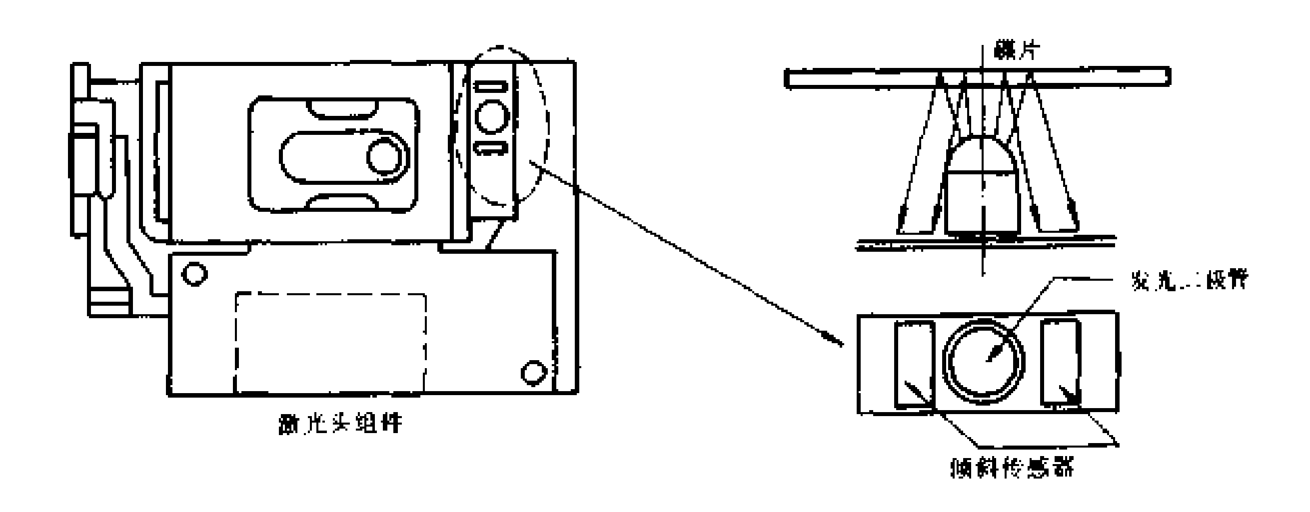


图 14－78　倾斜传感器的结构

图 14－79 给出了倾斜伺服电路。安装在光头组件内的倾斜传感器，把检测得到的倾斜误差信号经 RC 进行相位补偿后，由㉓脚输入比较器 1、比较器 2 及倾斜逻辑电路，并控制开关 1 来决定倾斜伺服电路是否加入。若需倾斜伺服，则从㉔脚输出到倾斜驱动，使激光束倾斜，与光盘保持垂直。

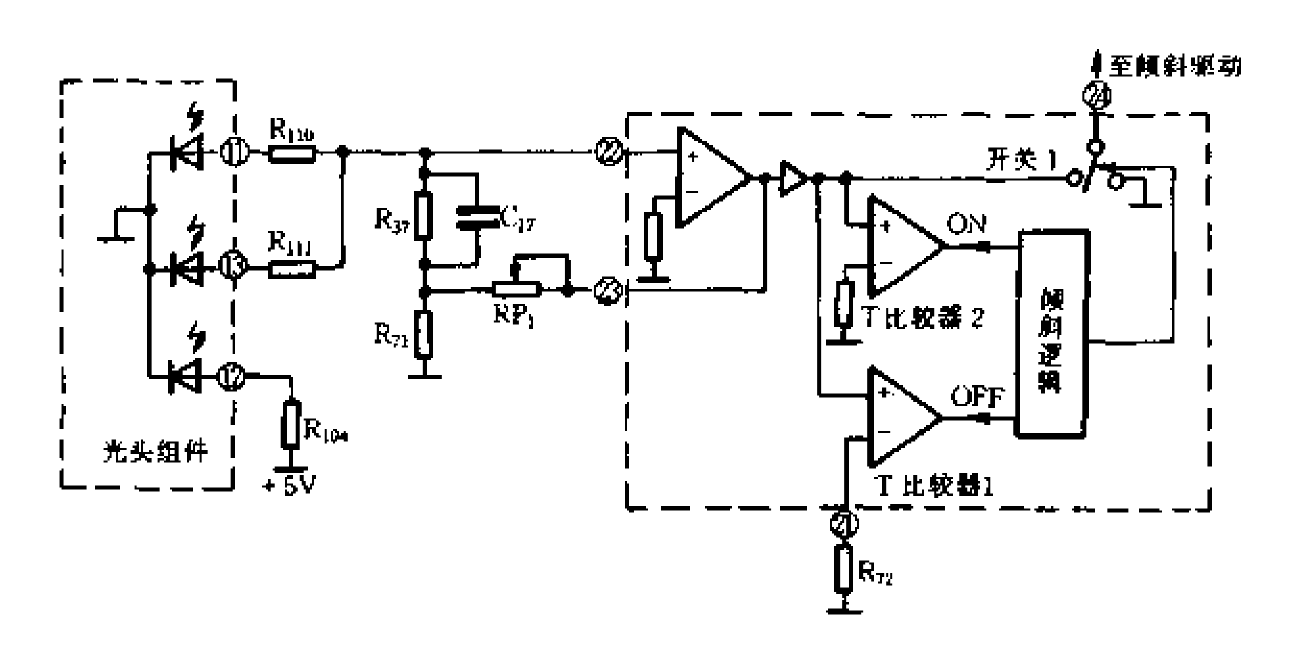


图 14－79　倾斜伺服电路

(5) 高度伺服电路

高度伺服电路是 LD 影碟机中独有的伺服电路。因为 LD

光盘直径较大，高速旋转时光盘盘面与光头之间的偏摆量较大，仅仅依靠聚焦伺服电路调整焦点来保持正确的聚焦跟踪是很困难的，因此需要增设一个高度电机以提升或降低光头来保持聚焦准确。高度伺服电路是一种聚焦的粗调电路。CD、VCD的光盘直径较小，不需要这种伺服来调整。

高度伺服电路由聚焦误差检测、误差放大、高度伺服驱动及高度伺服电机等组成。

聚焦误差检测是检测误差的大小，当误差较小时，由聚焦伺服电路控制聚焦线圈使透镜上下移动；当聚焦误差较大，超过聚焦伺服的控制范围时，高度伺服电路工作，高度电机工作，保持聚焦良好。

(6) 主轴伺服电路

由于在CAV方式中，光盘旋转一圈为一帧图像。若主轴电机转速不稳，表现为时间上的误差，这种误差重则造成行场不同步，轻则会造成彩色失真或无彩色。对NTSC制图像，0.00387μs的时间误差就会造成明显的彩色失真。

对CAV方式，主轴电机转速精度应高于10^{-3}，但仅靠电机转速精度的提高并不能满足要求，必须依靠主轴伺服电路的控制才能保证主轴转速的精确。

LD机利用重放时光盘中记录的色同步信号与LD机中石英晶体振荡器产生的基准色同步信号进行比较，二者产生的误差信号作为主轴电机控制信号，保持主轴转速准确。另一方面，误差信号作为时基电路的时钟发生器的控制电压，消除视频信号的时基误差，其过程见图14－80，其中CCD为色同步、行同步信号。

在LD与CD兼容机中，主轴伺服采用两种电路。CD主轴伺服电路功能由CD-DA数字信号处理电路完成；LD主轴伺服

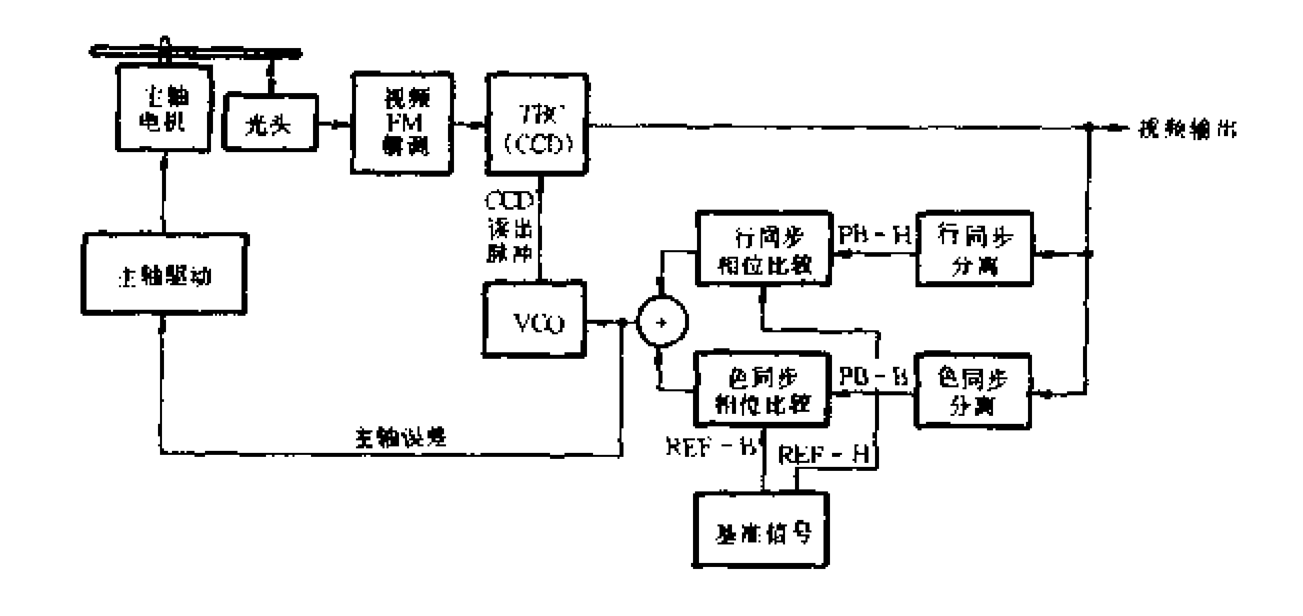


图 14－80　主轴伺服电路

由视频电路实现。下面以 LD 伺服电路为例，说明主轴伺服过程，其实际电路如图 14－81 所示。

(a) 主轴转速误差检测

时基(TBC)误差检测电路为 IC102，LD 机本机形成的基准行同步(REF-H)从 IC102 的⑦脚输入，重放时的视频信号(TB-H)从⑯脚输入，比较以后，行同步误差作为主轴误差从⑪脚输出。

重放色同步由 IC405⑪脚输出到 TBC 检测的㉑脚，同时把色同步基准信号 REF-B 从㉗脚输入，在 IC102 中进行相位比较后，从 ㉖脚输出，与行同步误差共同作为主轴误差信号。

(b) LD 的伺服过程

IC102 的㉖脚输出的为色同步相位误差，和 IC102 的⑪脚输出的行同步相位误差二者相加，经过 IC104 放大再经均衡 V108、V109 放大后，再分为两路，一路作为色同步相位误差送压控振荡器 IC406 ①脚，控制色同步的相位，实现时基控制；另一路经主轴伺服放大后驱动主轴电机，控制主轴电机转速稳定。

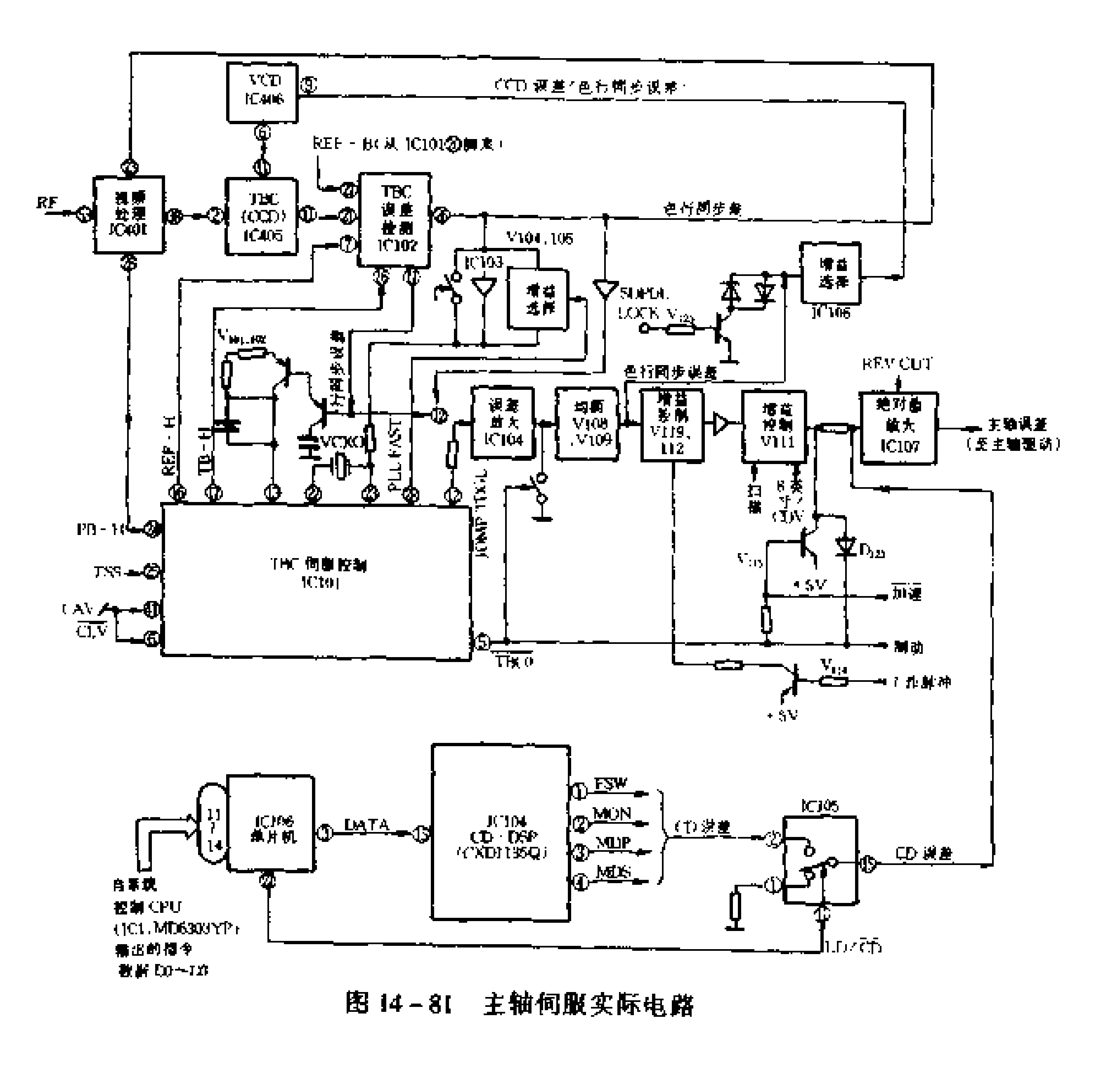


图 14-81 主轴伺服实际电路

4. 信号的重放系列

LD 光盘上记录的视频图像与伴音信号为模拟信号处理方式，而且未经过任何压缩，因此放送质量很好。

重放时，激光束在各种伺服电路的控制下精确地落在信迹上，通过光的反射把盘上以凹坑平台方式记录的信息读出来，并由光电检测器转换成电信号，经一系列处理后，变成标准彩色电视的图像与伴音（包括双声道的模拟信号及数字音频信号）。

重放电路应具备以下功能：能对图像、模拟音视频信号及数字音频信号进行还原；能对以上三种信号在重放过程中所丢失的频率成份进行补偿，对相位失真进行校正，对由于干扰污染等原因造成的信号失落进行补偿以及对重放时的时基误差造成纠正。

(1) 音视频信号处理电路

音视频信号处理电路如图 14－82 所示。它由视频重放、音频重放及数字音频处理三部分电路组成。一个实际的 LD 机重放信号处理电路如图 14－83 所示。

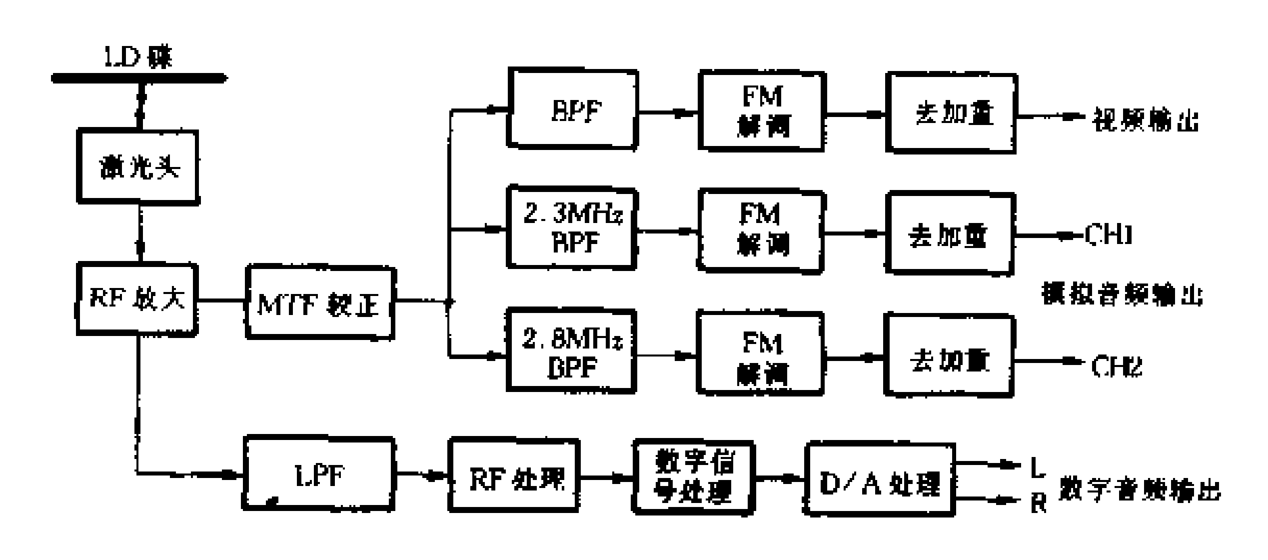


图 14－82　音视频电路框图

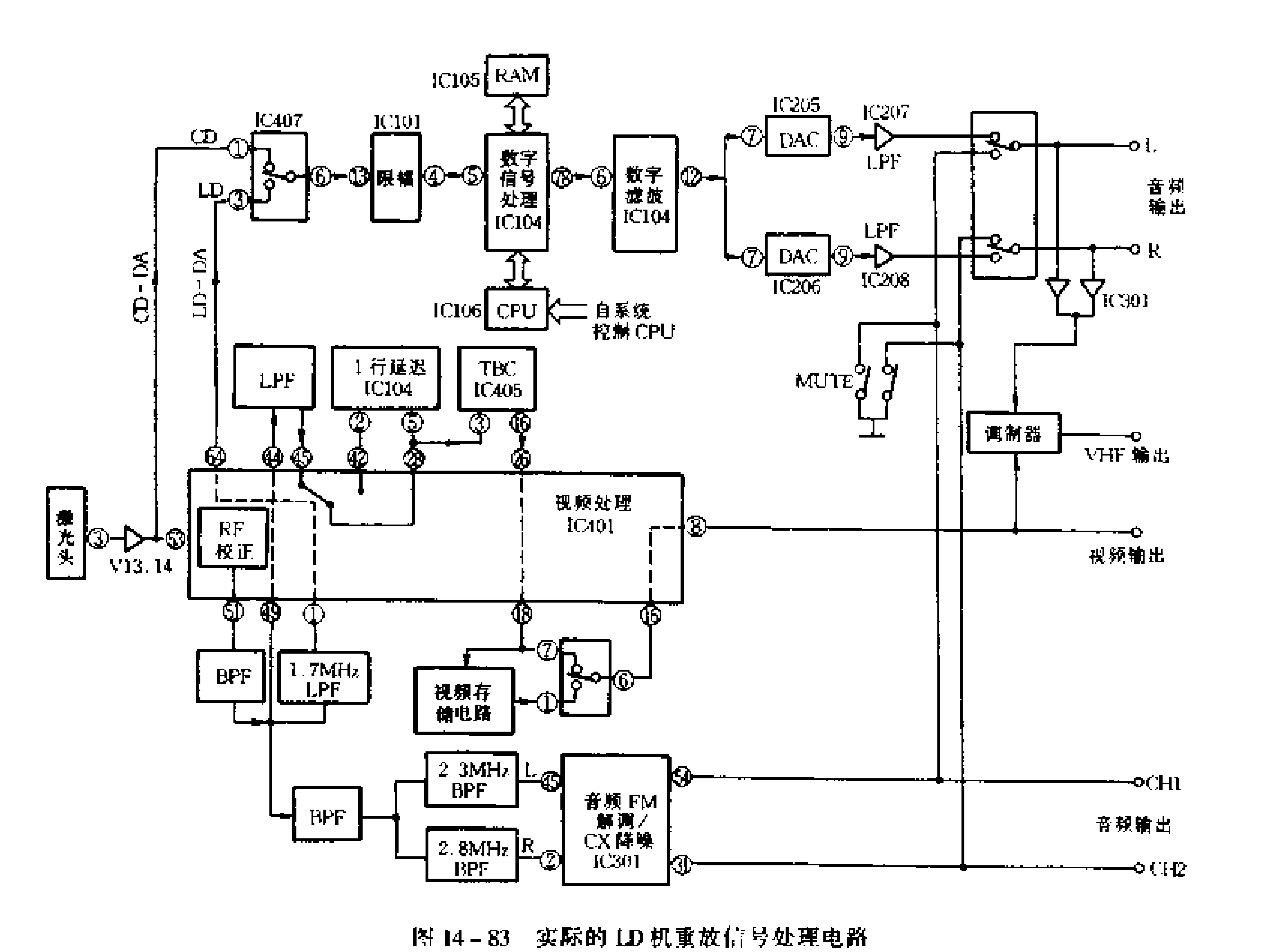


图14-83 实际的LD机重放信号处理电路

图中上半部分为数字音频处理电路，其处理过程类似于 CD 机的工作方式。

图中下半部分为模拟的视频、音频信号处理电路。除了音视频信号分别输出外，还包括 VHF 调制器，把电视图像与伴音调制在载波上，以便把信号从电视机的天线插座上输入。

(a) 视频信号的补偿处理

在视频信号的处理中，首先介绍调频(FM)补偿。因为视频信号是经过调频(FM)才记录在光盘上的，所以在重放时，由于光盘内外圈信迹带宽不同，因此高频衰减也不同。在光盘内圈，由于信迹频带窄，因此高频分量衰减严重，影响图像清晰度，所以用高频前置放大进行补偿，见图 14－84 所示。

(b) 调频视频信号的解调

解调是把调频(FM)的视频信号通过限幅、鉴频和低通滤波器滤波，恢复成调制前的信号。

限幅的作用是消除激光束对信迹的跟踪不好、外部干扰信号及噪声引起的读出信号波动。输出波形为近似方波的脉冲宽度信号，频率的变化与视频信号的幅度变化相同。

在调频信号的解调中，由于 LD 中使用的调频方式为低载频宽频带方式，所以不适于使用一般的相位或比例鉴频及失谐式鉴频方法，只能使用脉冲计数式鉴频器。

脉冲计数式鉴频器的原理如图 14－85 所示。调频信号每逢过零时，鉴频器都会输出一个窄脉冲。因为调频信号的频率时刻在变化，因而过零的时间间隔也在变化，由一系列的时间间隔不同的窄脉冲来反映调频信号的频率变化，这就是脉冲宽度调制信号 PWM。这个信号经低通滤波器 LPF 滤波后，就得到了幅度变化的视频信号。

(c) 失落补偿(DOC)

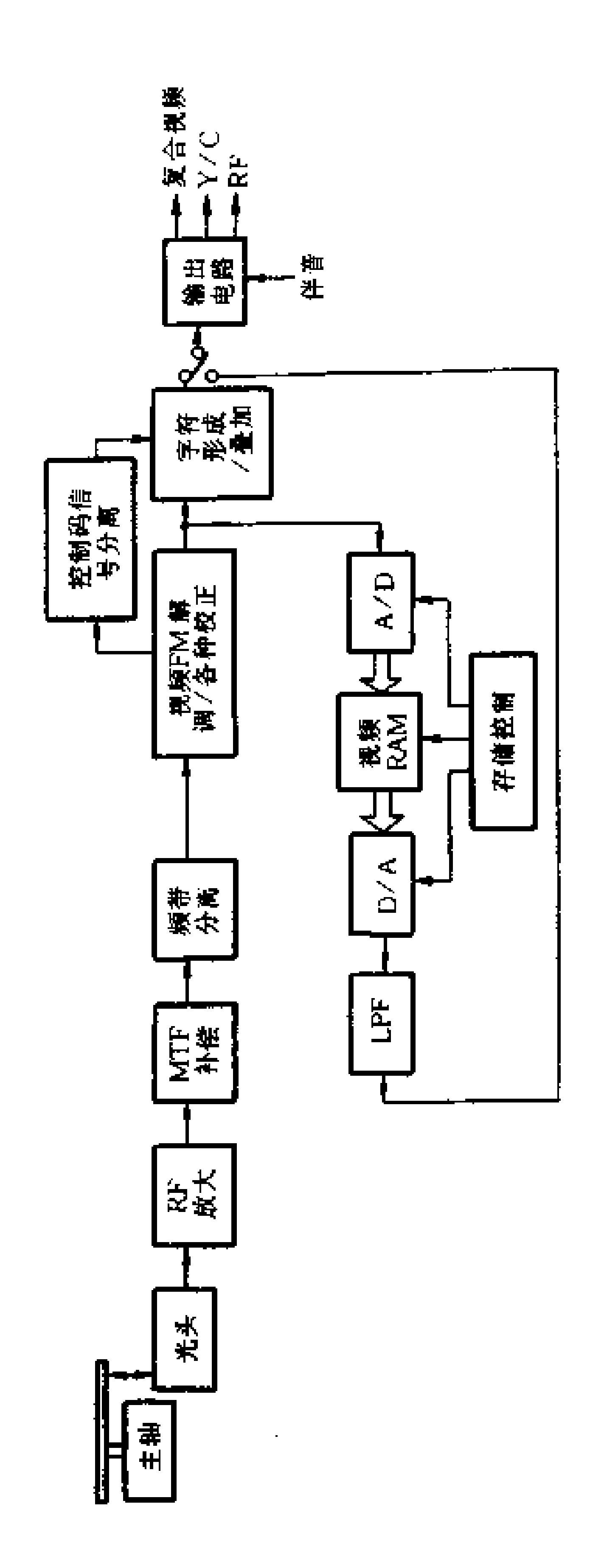


图14-84 视频信号处理电路

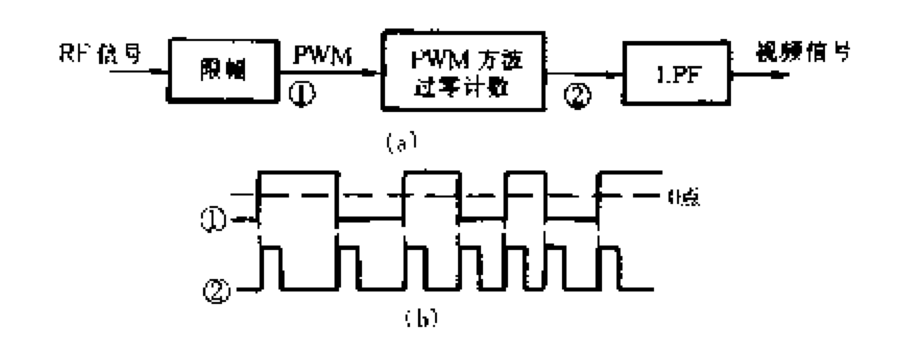


图 14-85　脉冲计数式鉴频器

信号失落是指在某一时刻的信号丢失，一般是由于 LD 光盘制造时的缺陷，如气泡或缺损等；也可能是由于盘片的污染等原因。

在失落补偿电路中，一般是由失落检测电路检出信号失落的情况，再由上一行信号来补充有失落的这一行信号。因为行与行之间的相关性，使人感觉不到图像的异常，如图 14-86 所示。当信号无失落时，开关打在"1"处，信号直接输出；当信号有失落时，开关打在"2"处，把当前一行的上一行信号(延迟一行的信号)输出，来代替当前一行。

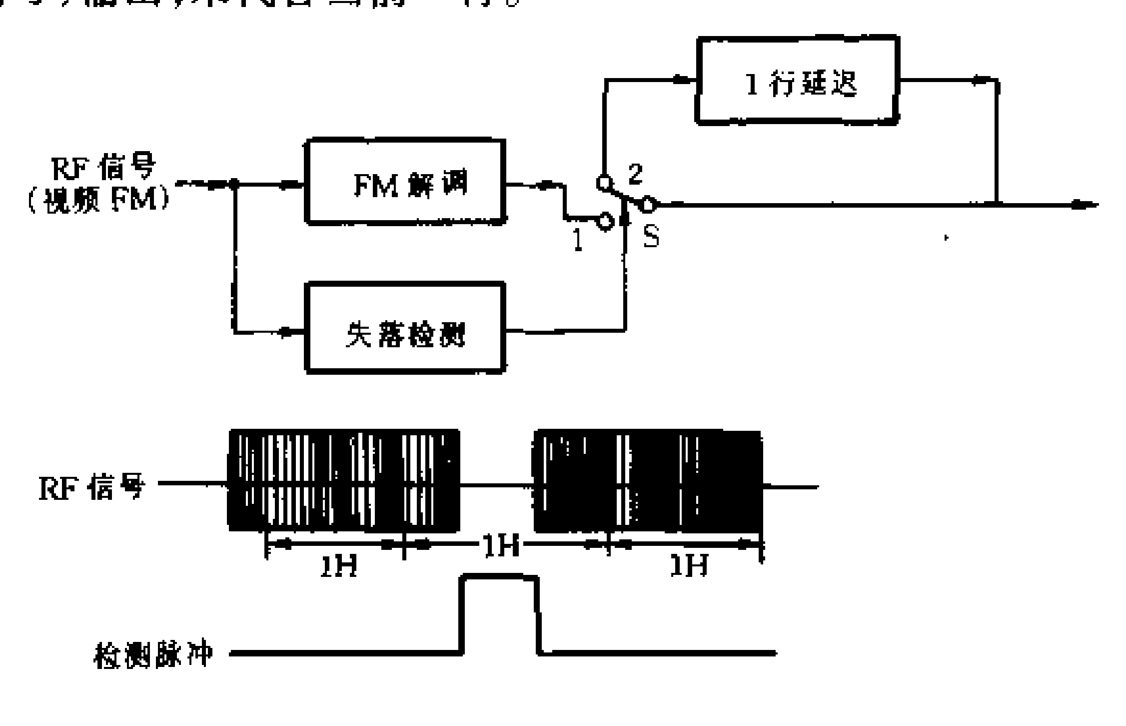


图 14-86　失落检测及补偿

(d) 时基校正电路

在 LD 机电路中，时基校正是依靠称之为电荷耦合器(CCD)的集成电路进行的。CCD 集成电路的特点是可以把模拟信号进行延迟，而且是由外部时钟来控制。信号在 CCD 中的传输速度与延迟时间由时钟频率决定，改变外部时钟信号的频率与相位，就可以改变通过 CCD 的信号的频率与相位，原理示于图 14 – 87 中。

从激光头拾取光盘上的信号，经视频电路的 FM 解调以后变成视频信号，被送入 CCD 器件。送入 CCD 的视频信号是不稳定的，存在着时基误差。根据时基误差的大小去改变 CCD 驱动时钟信号的频率与相位，就可以纠正视频信号中的误差。VCO 是一个压控振荡器，它的频率与相位受一个反映误差信号大小的直流电压信号的控制。

在控制电路中，实际是对行频误差和色副载波误差同时控制，所以有两个基准，一个是行频基准，另一个是色副载波 f_{sc}的标准。比较后的误差电压在加法器中相加，送到误差放大器放大，然后去控制压控振荡器 VCO 中去，控制它的频率与相位，达到时基校正的目的。

(e) 视频输出电路

LD 机的视频输出电路有三种，即：视频输出、射频输出及 S 端子(V/C 分离)输出。

这三种输出是为了适应各种电视放送设备的输入方式的不同。老式电视机只有天线输入，因此只能采用射频输入方式。采用这种方式时，LD 机输出的高质量画面受的损失最大；功能多一些的电视机或监视器都带有视频、音频输入端子，因此可以采用音视频信号分别输入的方式，使图像信号损失小些，采用这种方式时，图像质量比射频输入方式有一定的提高；近年来生产的超平面大屏幕多功能电视机，大部分都带有 S 端子的信号输

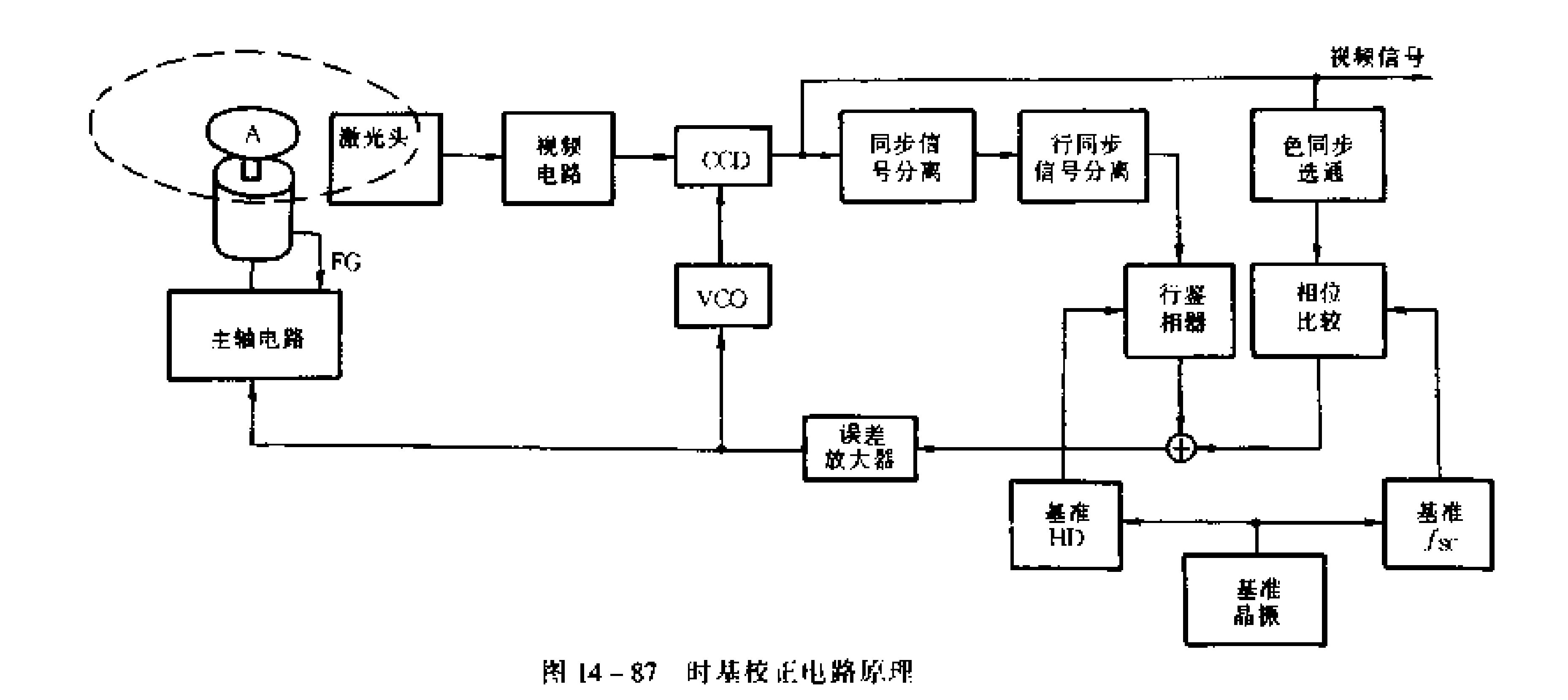


图 14－87　时基校正电路原理

入方式，使LD高质量图像信号受损失最小，放送质量最好。下面重点介绍S端子为什么会有这些优点。

为什么复合视频信号中图像信号会受到一定的损失呢？这是因为记录在LD上的调频（FM）视频信号，先通过色度通道与亮度通道还原成标准色度信号（C）与亮度信号（Y），再用频谱交错方式合成彩色全电视信号。复合视频信号经视频端子送到彩色电视机中，经过亮度分离，亮度经Y通道、色度经C通道处理，再送解码矩阵得到R、G、B三基色信号。由此可知，从LD光盘到彩色电视机显像管的过程中，图像信号中的亮度与色度信号经过分—合—分的过程，不仅会造成亮度信号中高频成份的衰减，还会造成亮度与色度的相互干扰，使清晰度下降、彩色失真。若采用亮度分离的传输方法，在LD机中亮、色分别输出，在电视机中亮、色信号各自通过亮度与色度信号通道分别处理，送入矩阵电路解调出三基色信号，由彩色显像管显像。图像信号中亮度高频成分损失小，色度与亮度之间相互干扰小，图像重显质量高。

LD机S端子的输出见图14－88。

(2) 视频数字电路

数字电路的应用为LD机增添了许多功能，例如，在CAV方式的光盘中，每一圈信迹只存1帧图像，实现静像与快进、快退很方便，但对于CLV方式的光盘，实现以上功能就很困难，因为CLV光盘中，内圈记录1帧图像而外圈记录3帧图像。如果采用了数字视频存储电路，在CLV光盘放送时也很容易实现各种特技。

数字视频存储电路如图14－89所示。

(a) 输入电路

经FM解调后的视频信号送入数字电路的输入电路。输入

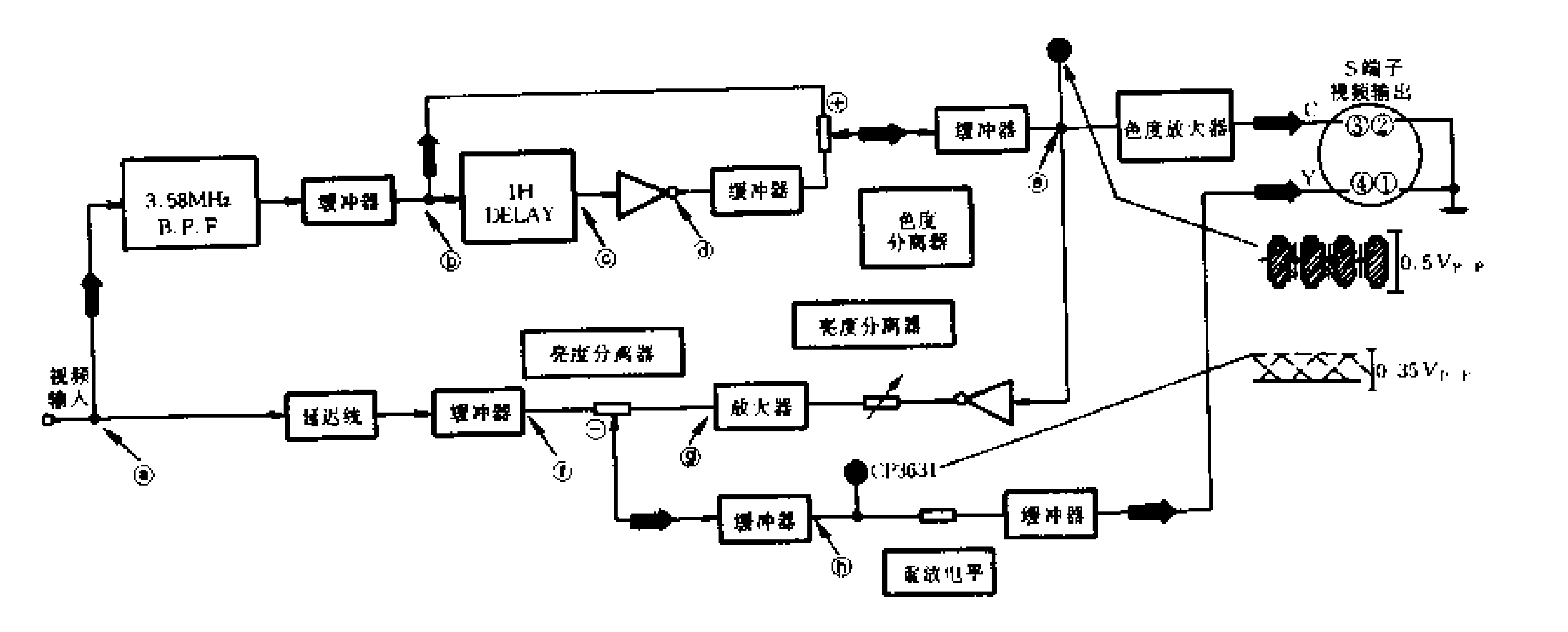


图14-88 LD机的S端子输出

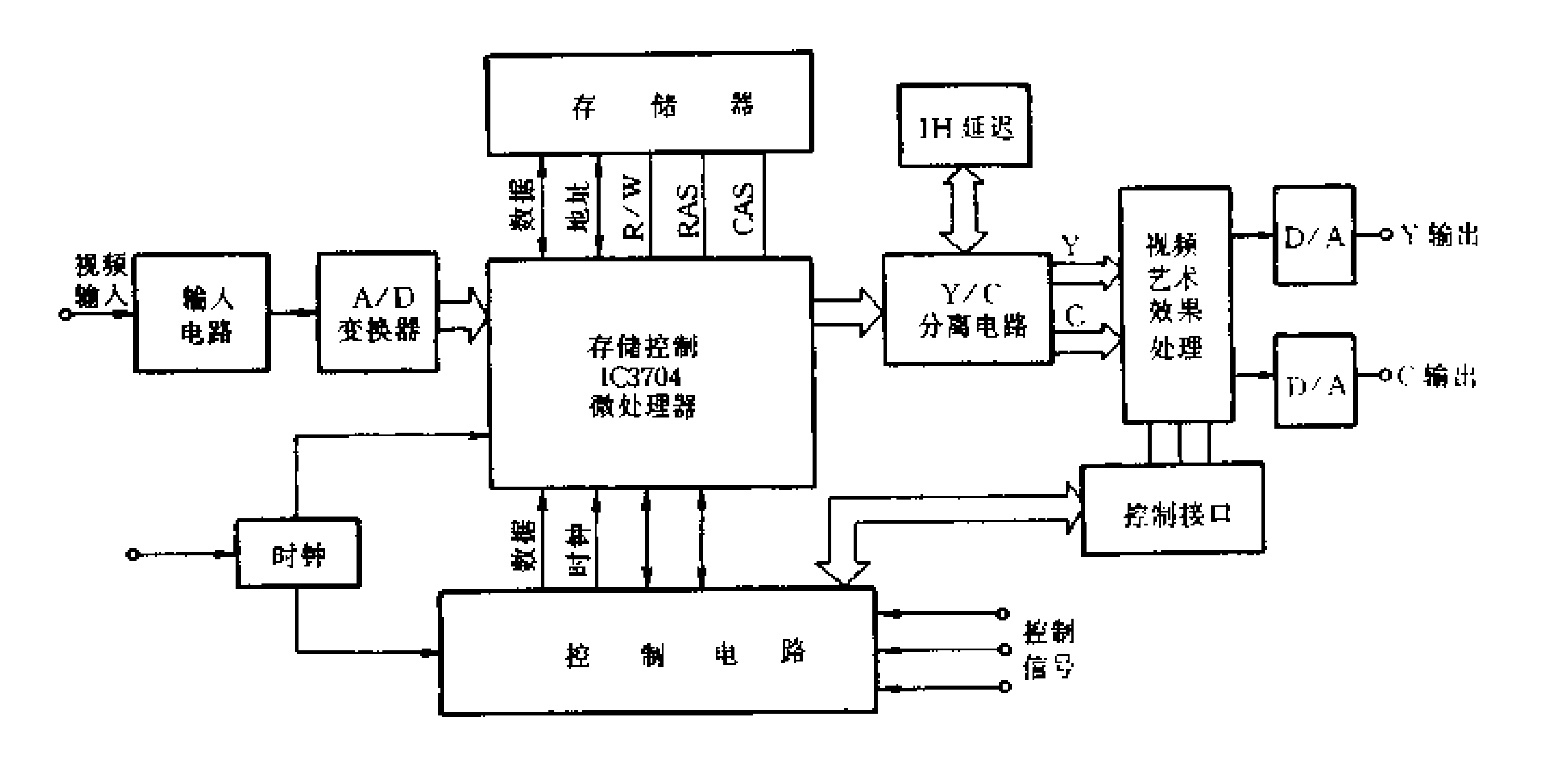


图14-89 数字视频存储电路

电路的作用是把视频信号经低通滤波器去掉高频噪声，放大后送到钳位电路，把视频信号的幅度钳位在一定水平，以便于进行A/D转换。

(b) A/D转换电路

在A/D转换时，首先对模拟信号进行采样和量化。在LD机中为了更精确地用数字信号反映模拟信号，采样频率用三倍的色副载波，即 $f = 3 \times f_{sc} = 13.3\text{MHz}$。采样频率越高，则变化后的波形越接近原模拟信号的波形，见图14－90。

采样后的断续信号要进行量化，用一组二进制数去代表一个模拟量，二进制数位数越多，量化越细，精度越高。一般在LD机中每一个模拟量用八位二进制数来表示。八位二进制数有 $2^8 = 256$ 级，可以达到要求的精度，如图14－91所示。

(c) 存储器

经A/D转换时数字信号在控制器的控制下存入存储器，需要时再从存储器中取出来。输出的8位二进制数经D/A变换后，变成模拟视频信号输出。

(3) 模拟音频信号处理电路

LD光盘左右声道的模拟音频信号分别以调频方式调制在2.3MHz和2.8MHz的载波上。在重放时，经相位补偿，伴音调频与视频调频信号分离，音频FM信号经过两个中心频率为2.3MHz和2.8MHz的带通滤波器，选出两个声道的调频信号，再经过限幅、信号失落补偿、FM解调、时基校正及CX解调后还原为左右声道的伴音信号。

CX解调为一种降噪系统，它可以使LD的放音音频信号的信噪比大于70dB，带宽达到20kHz，使音质达到高保真水平。

图14－92示出了模拟音频信号重放处理电路。

(4) 数字音频信号处理电路

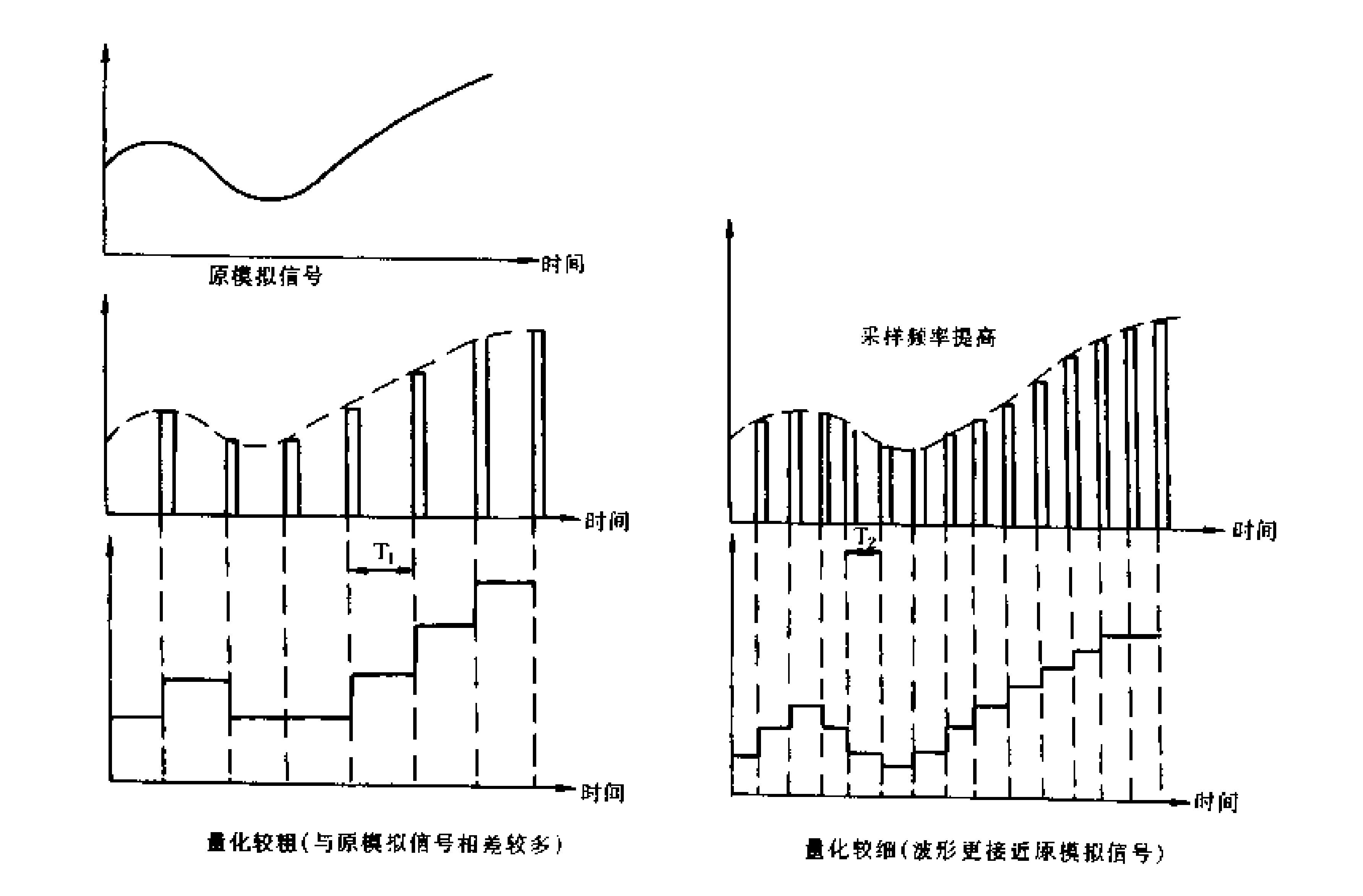


图14-90 采样频率与波形变换

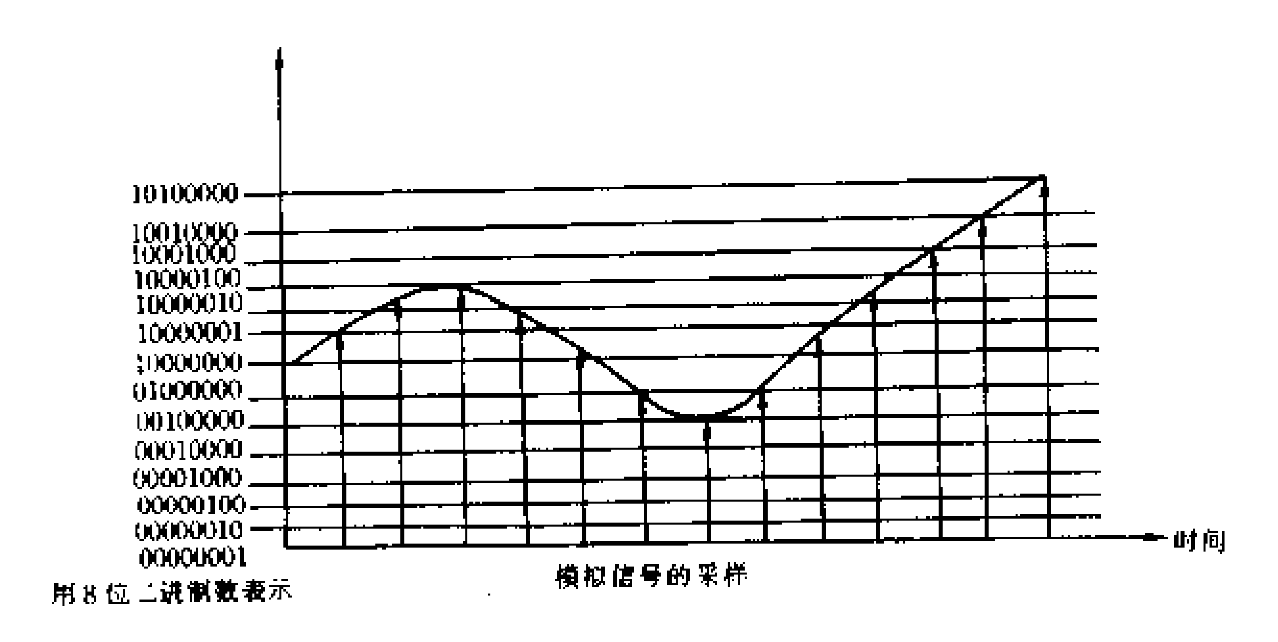


图 14－91 采样后的量化

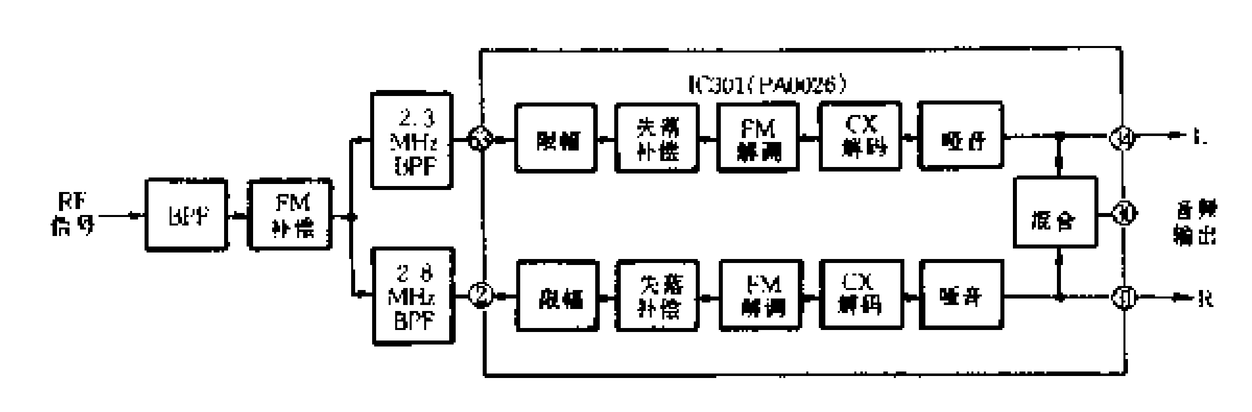


图 14－92 模拟音频信号重放电路

LD 机中数字音频信号的处理过程与 CD 机完全相同。图 14－93 是 LD 机进行数字信号处理过程的框图。

从激光头拾取的 RF 信号，经 IC407 的开关选择，选出 CD 或 LD 数字音频信号，经 IC101 的限幅处理后，选入 IC104 解码器进行数据选通、EF 解码、纠错等，还原为 8 位二进制数码音频信号，再经过数字滤波器滤波，分别送入左右声道的数/模转换，变成模拟信号，再经低通滤波后得到左右两声道音频信号。

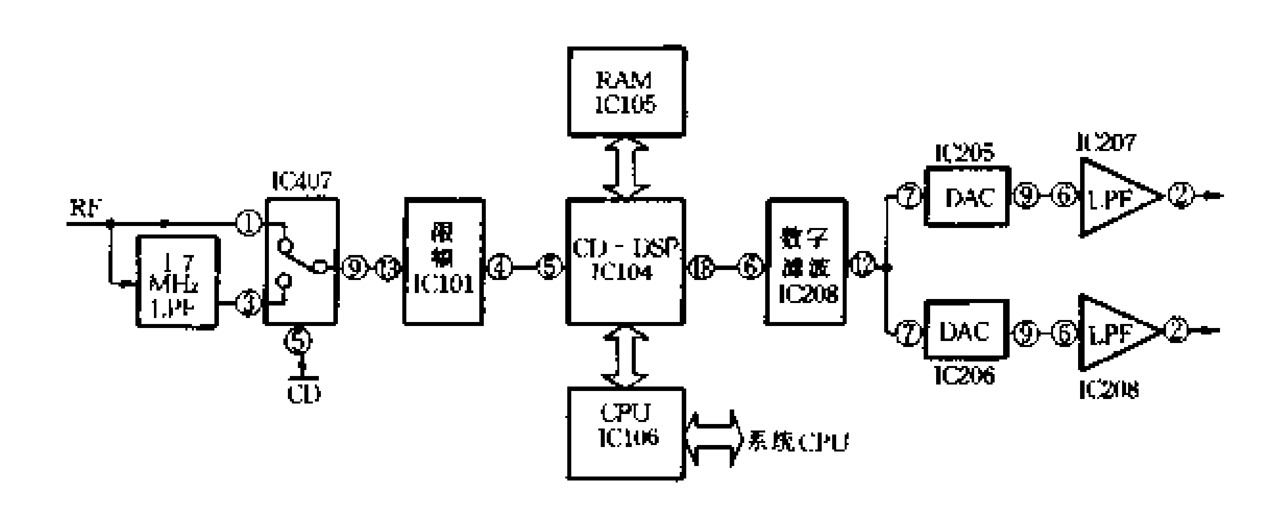


图 14-93 数字音频信号处理过程

［Ｇｅｎｅｒａｌ Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝无线电爱好者丛书精品系列　无线电爱好才读本（下）
作者＝
页数＝４０６
ＳＳ号＝０
出版日期＝